

## **INFORME SOBRE LOS RESULTADOS DE LA EXPLORACIÓN CON GPR**

**DE LA CALLE CARDENAL BENLLOCH, EN VALENCIA**

**EUETIB (UPC) / CEIB**

## Índice

1.-	Contexto	1
2.-	Planteamiento y realización de los trabajos	1
3.-	Equipos utilizados	1
4.-	Breve descripción de la técnica de georradar (GPR)	2
5.-	Situación de los perfiles	4
6.-	Registros obtenidos	8
7.-	Resultados en el perfil 3	11
8.-	Resultados en el perfil 4	12
9.-	Resultados en el perfil 5	12
10.-	Resultados en el perfil 6	14
11.-	Resultados en el perfil 7	15
12.-	Resultados en el perfil 11	16
13.-	Resultados en el perfil 12	16
14.-	Resultados en el perfil 13	17
15.-	Resultados en el perfil 14	18
16.-	Conclusiones	20

## 1.- Contexto

El estudio de la calle Cardenal Benlloch (Valencia) tiene como principal objetivo la detección de huecos por debajo del pavimento.

La adquisición de datos ha sido realizada por el equipo técnico de AIDICO en noviembre de 2010. El grupo para ensayos no destructivos de la Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (Universidad Politécnica de Cataluña y Consorcio de la Escuela Industrial de Barcelona) ha procedido al tratamiento de las señales, a la interpretación de los registros y a la elaboración del presente informe.

Se ha utilizado para la adquisición de datos un equipo de radar de subsuelo SIR 3000 de Geophysical Survey Systems Inc., que permite obtener información del interior de medios de forma indirecta y no destructiva mediante ondas electromagnéticas.



Figura 1. Situación de la avenida estudiada.

## 2.- Planteamiento y realización de los trabajos

Los trabajos de campo se realizaron en julio de 2010 en la calle Cardenal Benlloch. La exploración se efectuó mediante varios perfiles continuos a lo largo de la calle, en las dos direcciones. El número total de perfiles en esta calle ha sido de 20, analizando los dos sentidos de la calle. Los perfiles se inician en la confluencia de la avenida Cardenal Benlloch con la avenida Blasco Ibáñez. Los perfiles del 3 as 7 se han trazado uno a continuación del otro, iniciándose en la confluencia con la calle Blasco Ibáñez y en dirección a la calle Eduardo Boscá. Los perfiles 11 a 14 se inician en el límite entre las calles Cardenal Benlloch y Eduardo Boscá y se dirigen hacia la calle Blasco Ibáñez (se trazan en sentido contrario a los cinco primeros perfiles, por el lado opuesto de la calzada).

Los trabajos de gabinete para la interpretación de los datos se detallan en el apartado 3.

En el apartado 4 se presenta brevemente la técnica de prospección con radar de subsuelo, indicando sus limitaciones y sus posibilidades.

La situación de los perfiles en la calle se indica en el apartado 5, los registros obtenidos se muestran en el apartado 6, y los resultados del análisis de cada uno de estos registros, una vez procesados, se describen en los apartados del 7 al 15. En el apartado 16 pueden leerse unas conclusiones generales.

## 3.- Equipos utilizados

La instrumentación empleada para los trabajos de adquisición de datos con radar de subsuelo ha sido:

- Un radar de subsuelo SIR 3000 de GSSI.
- Una antena apantallada de frecuencia central 270 MHz.
- Un carro portador de la antena, equipado con un odómetro.

Parámetros para la adquisición de datos:

- Ventana temporal: 100 ns
- Número de muestras por traza: 512
- Número de trazas cada metro: 120
- Función de amplificación (ganancia): lineal con extremos en -20 y en +49 dB

El procesado de los registros, previo a la interpretación se ha realizado utilizando los programas:

- ReflexW
- Radview

- RADAN
- Ordenadores personales como soporte informático.

#### 4.- Breve descripción de la técnica de radar de subsuelo

El radar de subsuelo es un método de investigación no destructiva del interior de medios materiales. Utiliza pulsos electromagnéticos de muy corta duración, 1-60 nanosegundos ( $1 \text{ ns} = 10^{-9}$  segundos), en la banda de VHF/UHF (20-1500 MHz), que se repiten con una frecuencia de 50 KHz.

Estos pulsos se agrupan en paquetes de ondas compuestos por 1.000-15.000 de ellos. La señal de la antena es, por lo tanto, una onda electromagnética formada por tres semiperiodos. La antena emisora genera los pulsos que forman la señal y que se transmiten al medio que se desea estudiar. Se propagan por el interior del medio material con una velocidad que depende de sus características electromagnéticas. En condiciones de medio dieléctrico esta velocidad se puede simplificar por una ecuación que depende únicamente de la velocidad de la luz en el vacío ( $c = 30 \text{ cm/ns}$ ) y de la permitividad dieléctrica relativa del medio ( $\epsilon_r$ ):

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Cuando las señales inciden en una interfaz que separa dos zonas caracterizadas por constantes dieléctricas diferentes se produce la reflexión de parte de la energía incidente. Esta energía regresa hacia la superficie del medio y es captada por la antena receptora situada sobre esa superficie. Parte de la energía se refracta en la discontinuidad y continúa propagándose hacia el interior del medio. La figura 2 muestra esquemáticamente cómo se produce la emisión, propagación, reflexión y registro posterior de la energía, junto con el radargrama que se obtiene tras este proceso.

Los cambios de parámetros electromagnéticos en el interior de un medio pueden estar relacionados con variaciones en las propiedades físicas. Puede corresponder, por ejemplo, con cambios de estrato geológico, con la presencia de oquedades, objetos o zonas con distinto contenido de agua.

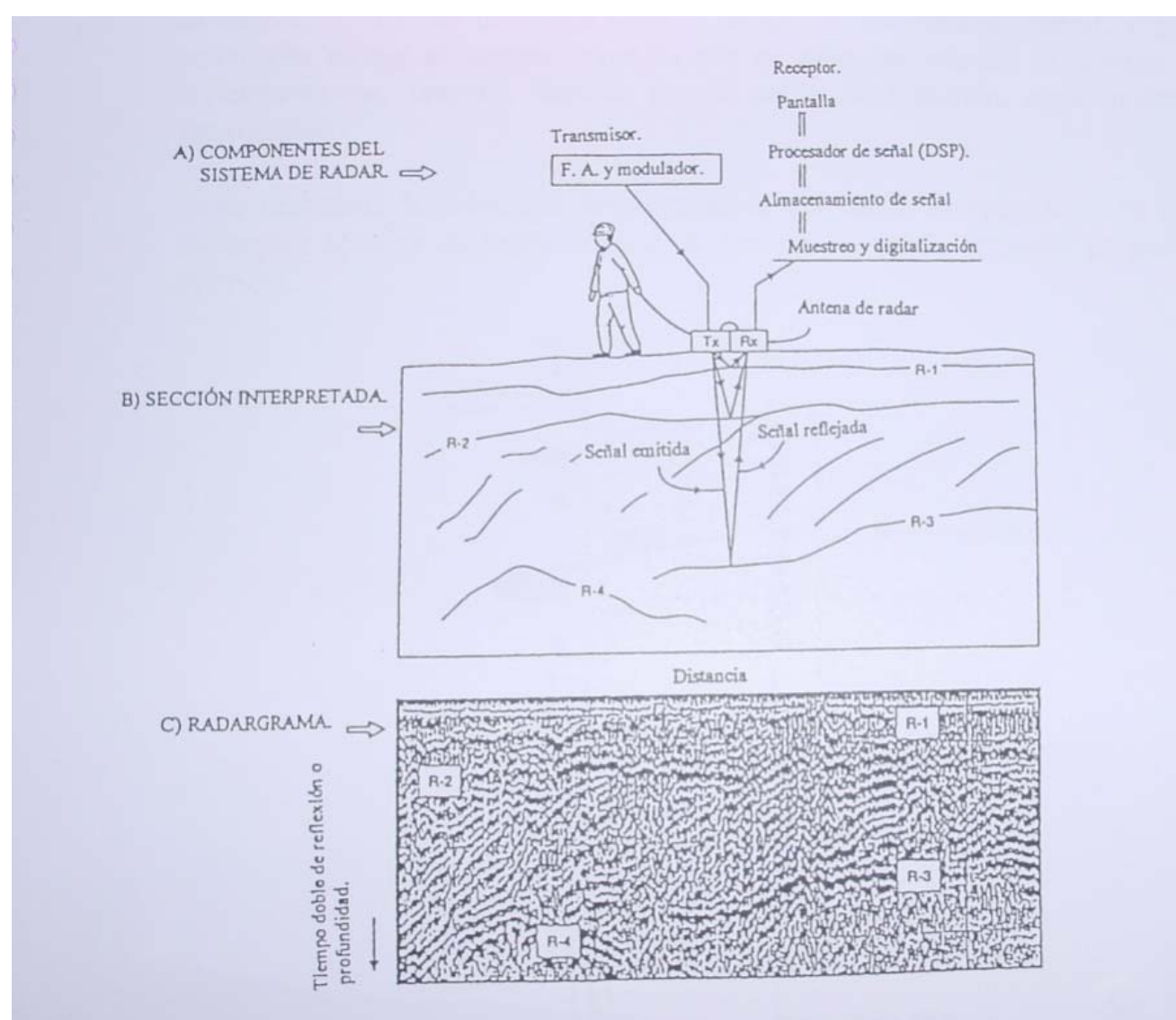


Figura 2. Reflexiones en diversas discontinuidades del subsuelo. El principio es aplicable a la exploración de cualquier estructura o medio.

La antena receptora incorpora un circuito electrónico, “demodulador”, conectado al circuito electrónico de amplificación y recepción; una vez que las reflexiones la alcanzan, este circuito convierte el pulso electromagnético de alta frecuencia en otro de banda de audiofrecuencia que es enviado a través de un cable coaxial altamente apantallado a la unidad central, donde la señal es reconstruida, procesada y almacenada.

La unidad central está conectada a las antenas y a un sistema de almacenamiento masivo de datos provisto de una pantalla de visualización en tiempo real donde se reproduce la señal que se va recibiendo.

Cada señal o grupo de señales que se reciben se registran como una traza. El operario puede definir el número de señales emitidas cada metro. La posibilidad de emitir un elevado número de estas señales cada metro permite que, al mover la antena sobre la superficie del



terreno o de la estructura, se obtenga un registro continuo que refleje la estratigrafía y/o la existencia de anomalías en el subsuelo o en el interior de la estructura explorada. Las trazas son señales que muestran la amplitud de la onda en función del tiempo de propagación (o profundidad si se conoce la velocidad de la onda en el medio) hasta un tiempo máximo limitado por la ventana temporal seleccionada. El conjunto de trazas consecutivas proporciona el registro continuo. Este registro es un diagrama bidimensional que tiene como eje horizontal la distancia sobre la superficie del medio (posición de la traza recibida) y como eje vertical el tiempo doble de propagación de la onda (o la profundidad si se conoce la velocidad de la señal). Puede presentarse como un apilamiento de amplitudes, pero, para obtener una mejor visualización de las anomalías se suele asignar un color de una determinada escala a cada rango de amplitud. De este modo se obtienen unos pseudoperfiles en escala de colores. La figura 3 esquematiza esta asociación de los rangos de amplitudes con colores de una escala determinada.

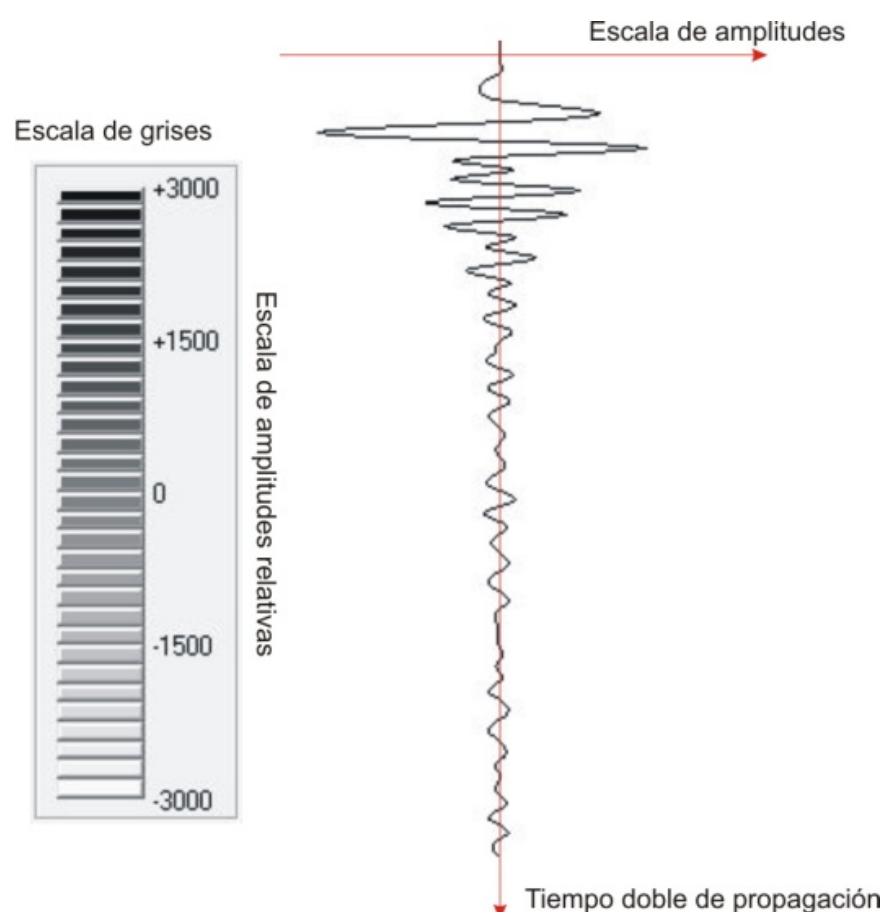


Figura 3. Las amplitudes de las trazas se transforman según una escala de colores para su visualización.

Cuando la señal se recibe en la consola de control, ésta le aplica una ventana de amplitudes, cuyo tamaño y colorido decide el operador. Las amplitudes mayores al valor de la ventana establecida aparecen en la pantalla. El resultado es un registro denominado radargrama, en el que el eje de abscisas corresponde al desplazamiento de la antena sobre el terreno o estructura (movimiento lateral), y el eje de ordenadas refleja el tiempo invertido por el pulso en recorrer el camino antena-reflector-antena, también llamado tiempo doble de reflexión, normalmente medido en nanosegundos.

Si se determina la velocidad de propagación del medio investigado o su constante dieléctrica relativa, es posible convertir la escala vertical de tiempos en una escala de profundidad (medida en metros).

Alcance:

El radar de subsuelo permite obtener imágenes del interior de un medio relacionadas con cambios en los parámetros electromagnéticos. De este modo, puede servir para localizar oquedades ya que la permitividad dieléctrica del aire es próxima a la unidad, mientras que la de un suelo arcilloso con un cierto contenido de agua (por ejemplo), puede ser próxima a 16. El contraste entre estos dos valores es suficientemente importante como para producir una reflexión cuya amplitud resulta claramente visible si la energía que ha alcanzado la discontinuidad está por encima de lo que sería el ruido de fondo. También es un método útil para localizar el nivel freático en un suelo debido al importante contraste entre permitividades dieléctricas relativas que se produce entre el suelo saturado y el suelo no saturado. Este método de prospección también permite localizar elementos embebidos en el interior de un medio siempre que las propiedades electromagnéticas de los objetos embebidos difieran suficiente de las propiedades del medio.

La profundidad que se puede alcanzar depende principalmente del rango de frecuencias de la señal emitida, de los parámetros electromagnéticos del medio y de la heterogeneidad del medio estudiado.

Limitaciones:

El adecuado funcionamiento del GPR para cada estudio depende de la transparencia de los materiales del medio al paso de las ondas electromagnéticas en el rango de frecuencias para el que trabaja la antena utilizada. Los medios no dieléctricos o conductores son parcialmente opacos a la señal de radar, limitándose la profundidad que se puede alcanzar. Si la conductividad del medio se incrementa debido a la presencia de arcillas conductoras, agua salobre o minerales metálicos (por ejemplo), la penetración disminuye, pudiendo llegar al caso de tener un medio totalmente opaco a la radiación de la antena. Este es el caso de plataformas metálicas, por ejemplo.

Otra limitación es debida a que la reflexión de la señal sólo se produce en las superficies de contacto que separan medios con propiedades electromagnéticas diferentes. Puede darse el caso de dos medios distintos que presenten constantes dieléctricas iguales o

muy parecidas. En estas situaciones no se produce reflexión en la superficie que separa estos medios (o bien la amplitud de la señal que se refleja queda dentro del rango de amplitudes del ruido de fondo), no pudiendo detectarse de este modo diferencias en el radargrama entre un medio y otro.

Por otro lado, al tratarse de un método indirecto basado en la resolución del problema inverso, las señales recibidas tienen un grado de indeterminación que únicamente se puede disminuir si se conocen condiciones de contorno en alguno de los puntos de estudio y si se ha determinado con claridad qué tipo de elemento anómalo se está intentando localizar. Hay que tener en cuenta que diferentes elementos o cambios en el medio pueden producir el mismo tipo de anomalía en la señal. De este modo, una oquedad queda reflejada en el radargrama como un aumento de amplitud de la señal, del mismo modo que si se tratara de otro tipo de heterogeneidad del medio. El método permite detectar zonas anómalas en las que pueden estar localizados los objetos de interés, siempre teniendo en cuenta que pueden estar relacionadas con diferentes tipos de blanco.

## 5.- Situación de los perfiles

Los perfiles del 1 al 12 son consecutivos y se trazan sobre el carril lateral de la calle Blasco Ibáñez, en el lado impar. Los perfiles del 13 al 24 son paralelos a los nueve primeros, trazados sobre el carril contrario de la misma calle (lado par), en sentido opuesto. En las figuras 4 a 7 se puede ver el inicio y el final de todos estos perfiles.

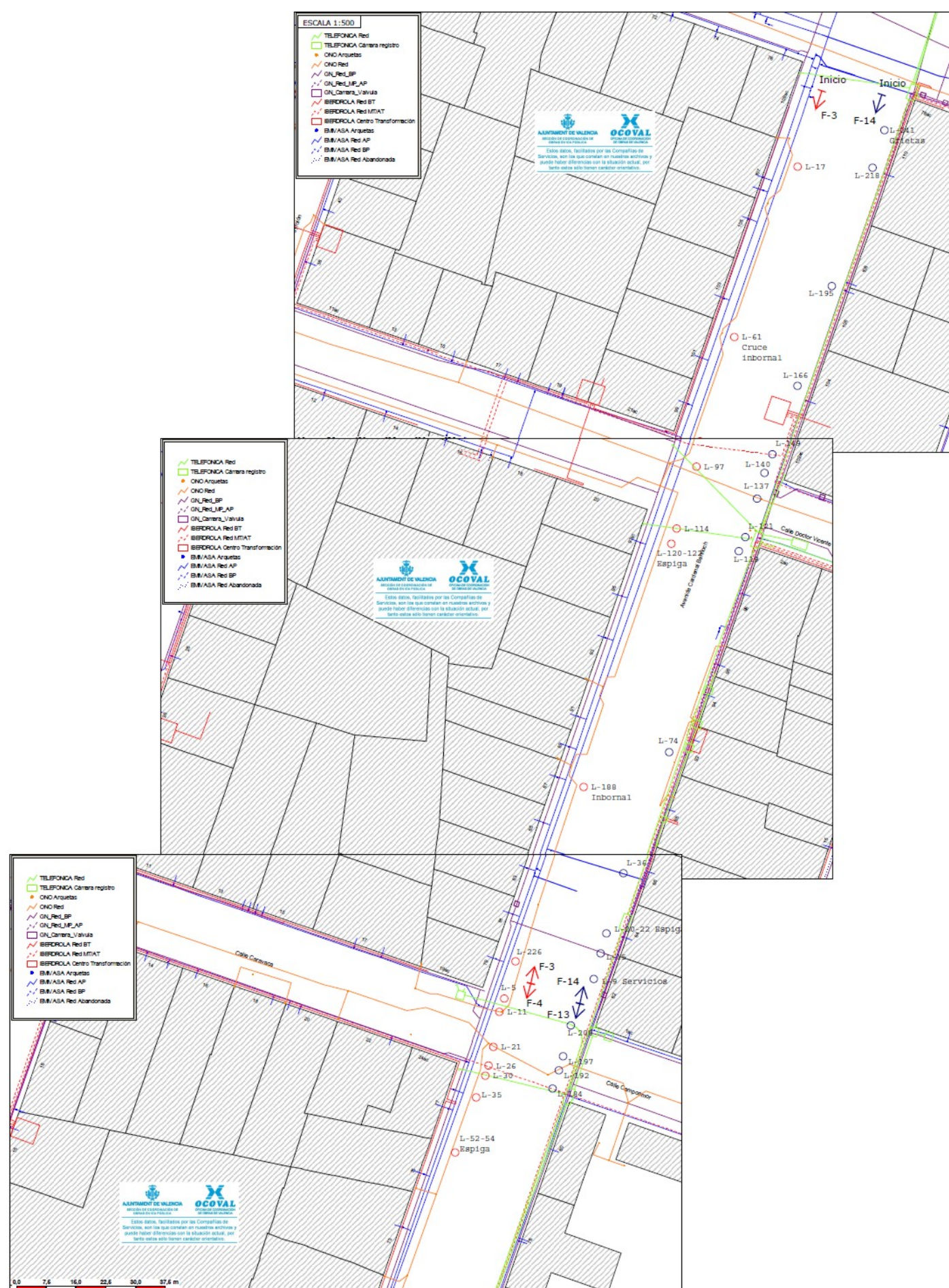


Figura 4. Inicio y final de los perfiles 3 y 14.



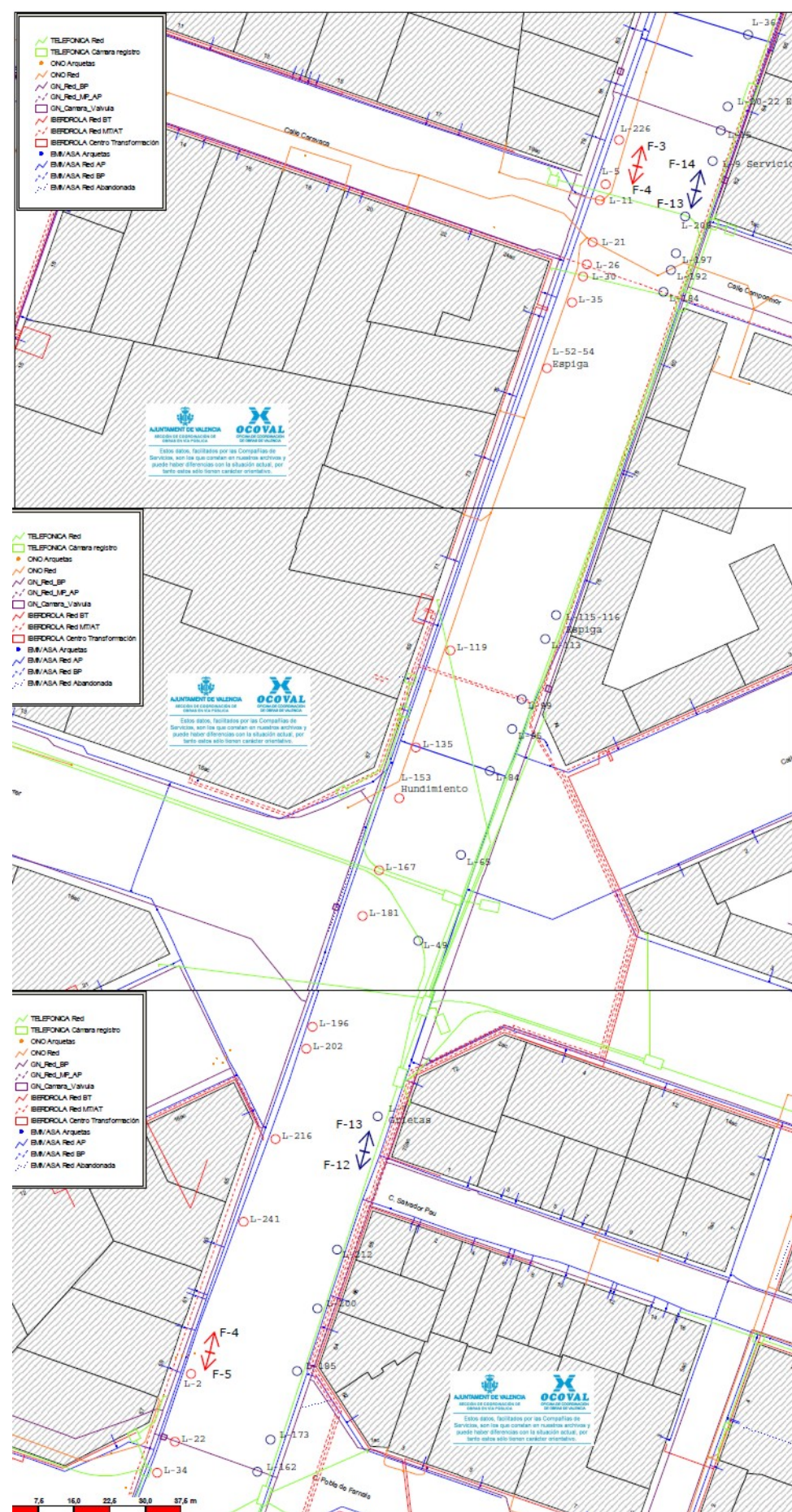
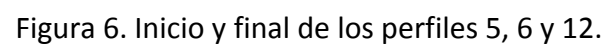


Figura 5. Inicio y final de los perfiles 4 y 13.







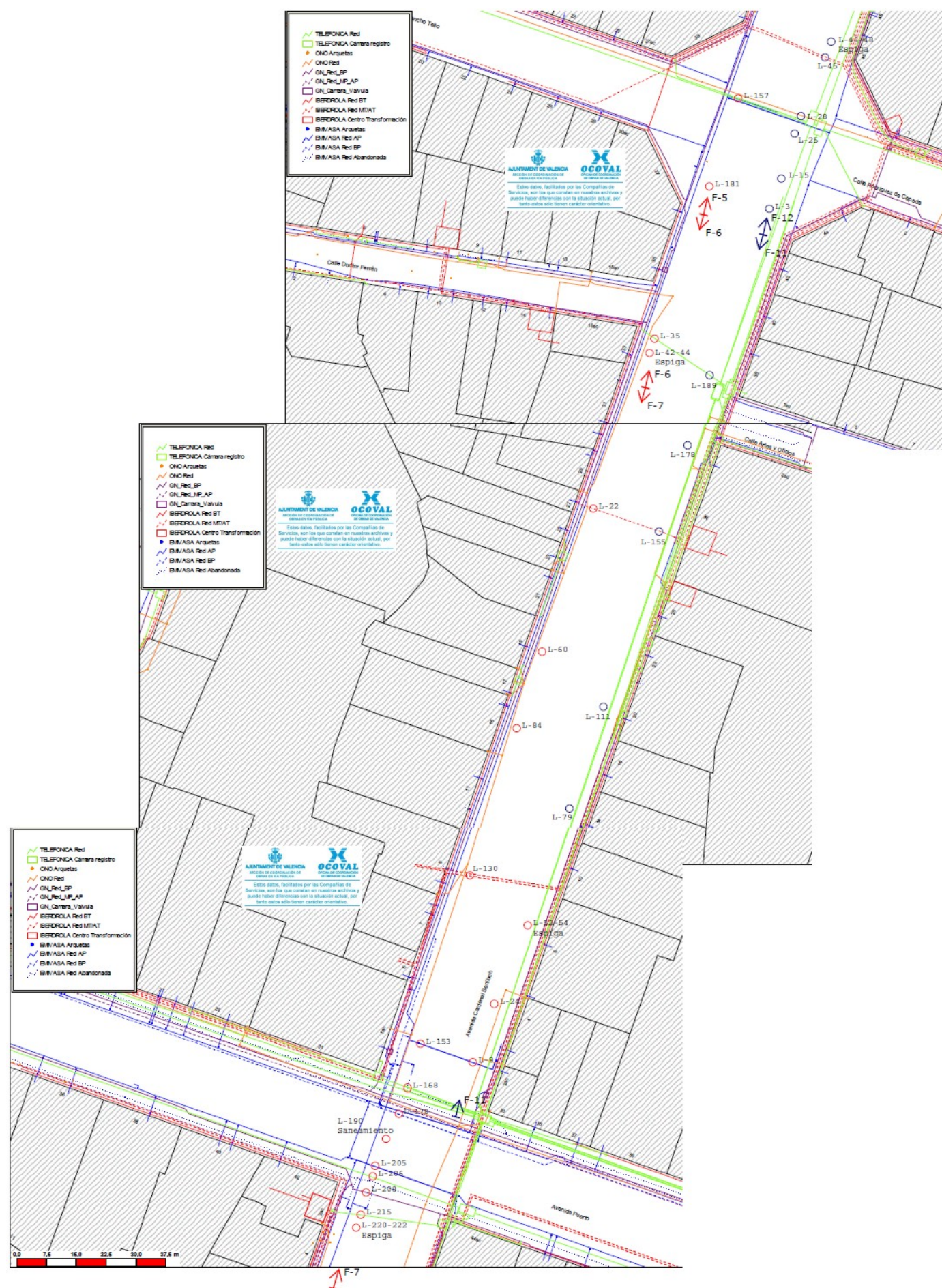


Figura 7. Inicio y final de los perfiles 6, 7 y 11.

## 6.- Registros obtenidos

Registros del 3 al 7 obtenidos en el lado impar de la calle Cardenal Benlloch:

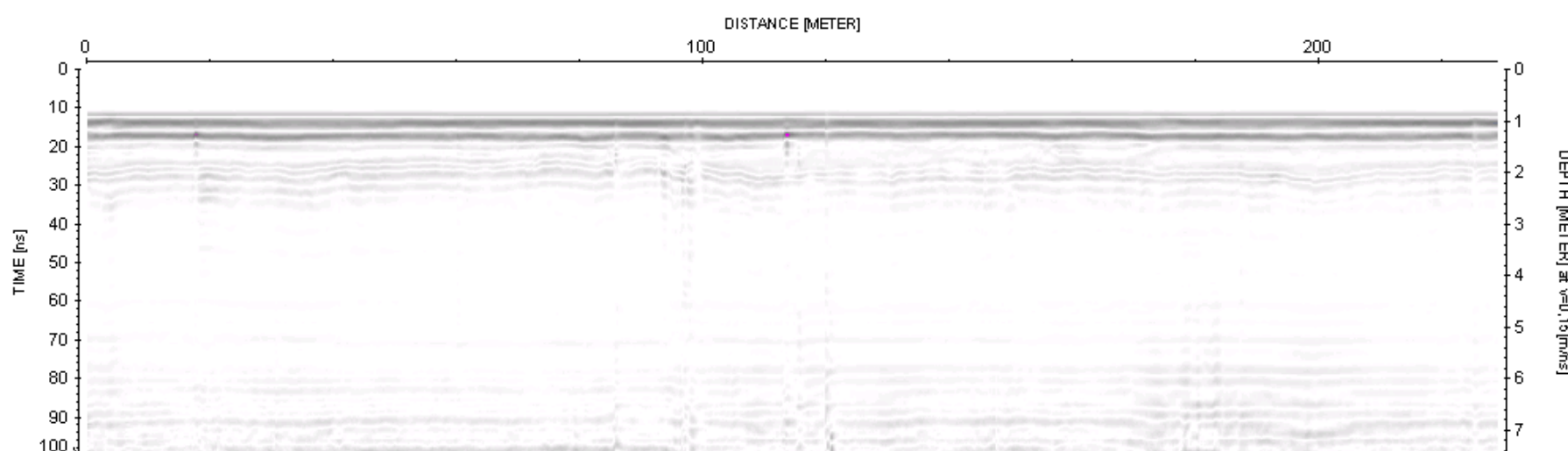


Figura 8. Registro obtenido en el perfil 3, de una longitud de 228.873 m.

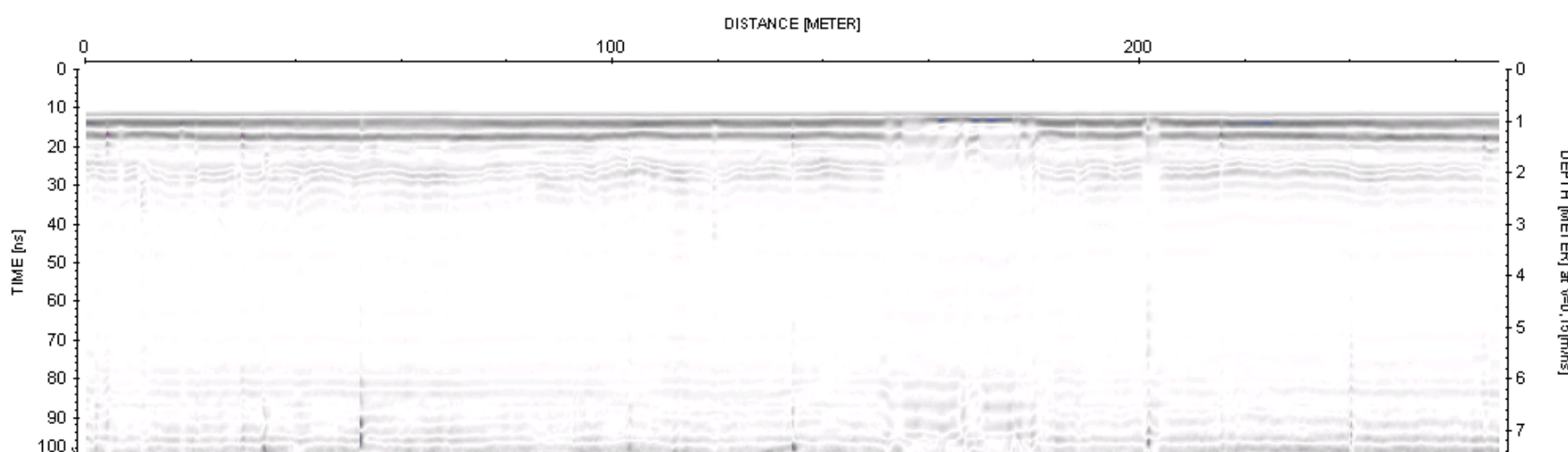


Figura 9. Registro obtenido en el perfil 4, de una longitud de 268.129 m.

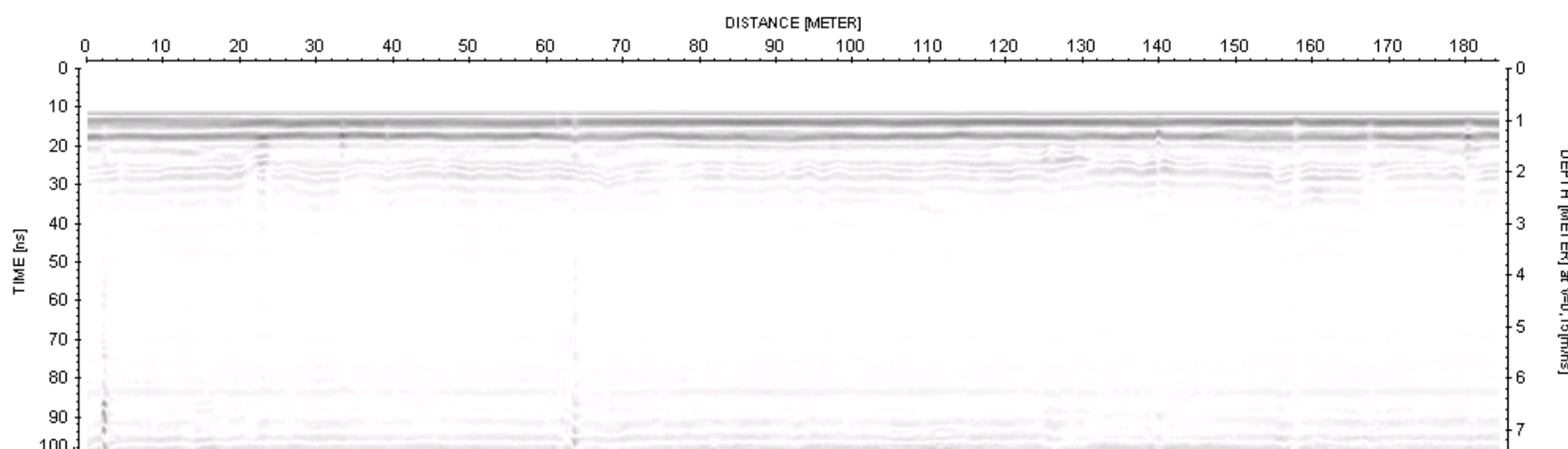


Figura 10. Registro obtenido en el perfil 5, de longitud de 184.323 m.

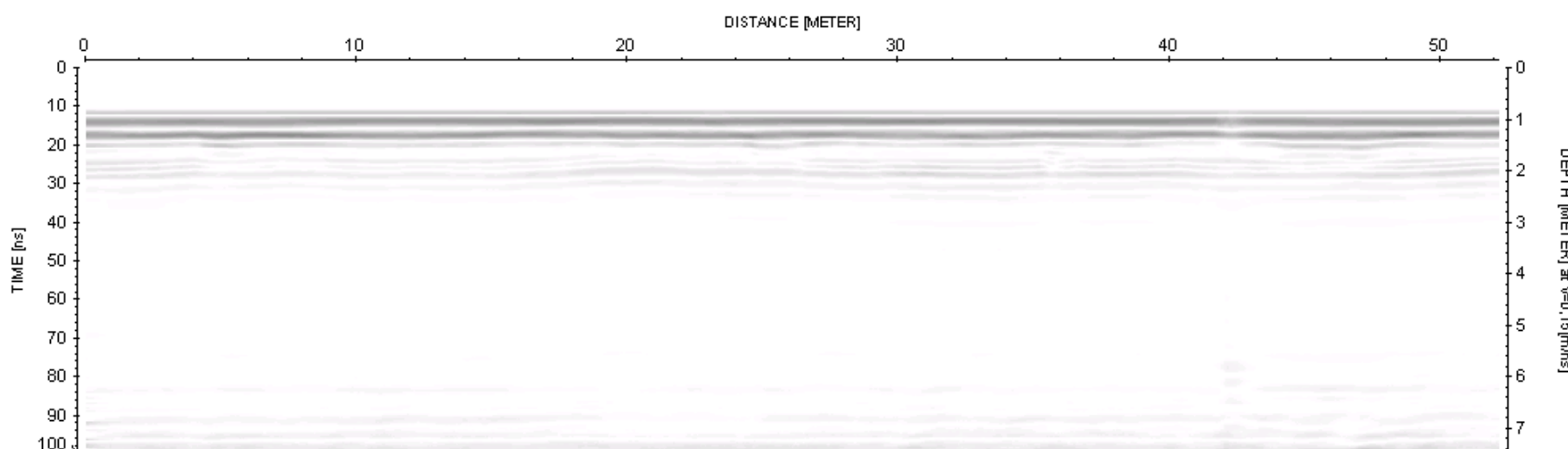


Figura 11. Registro obtenido en el perfil 6, de longitud 52.112 m.



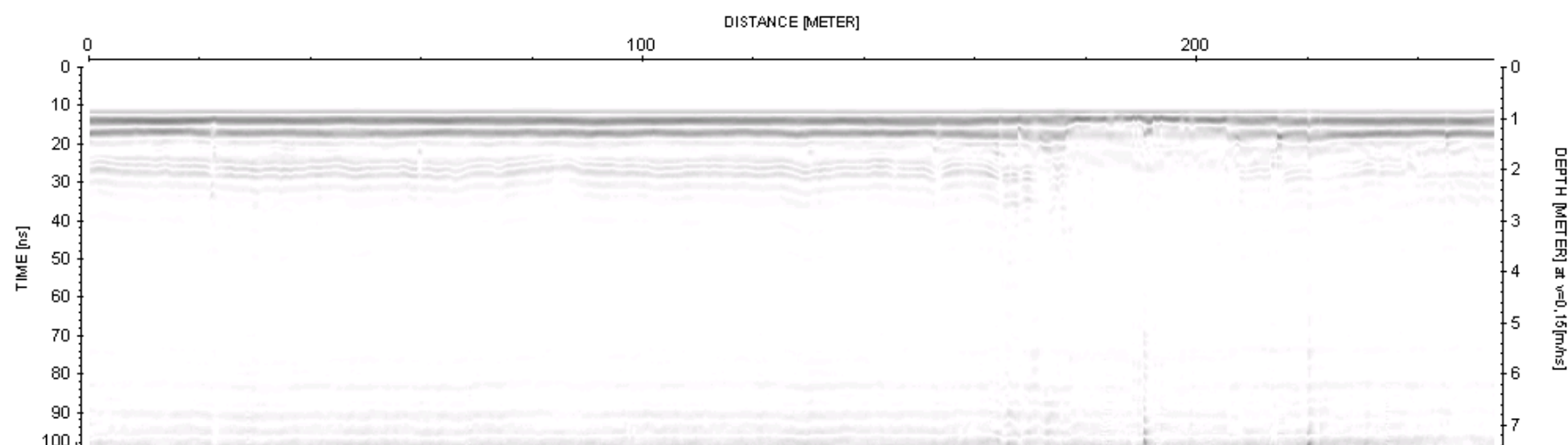


Figura 12. Registro obtenido en el perfil 7, de longitud 253.645 m.

Perfiles obtenidos en el lado par de la calle Cardenal Benlloch:

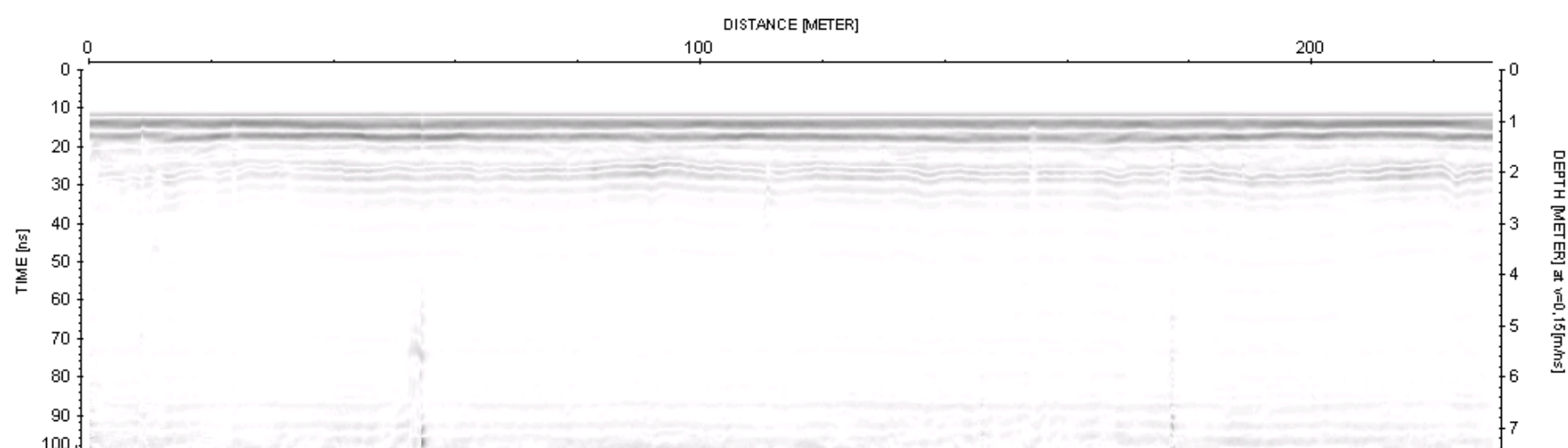


Figura 13. Registro obtenido en el perfil 11, de longitud 229.472 m.

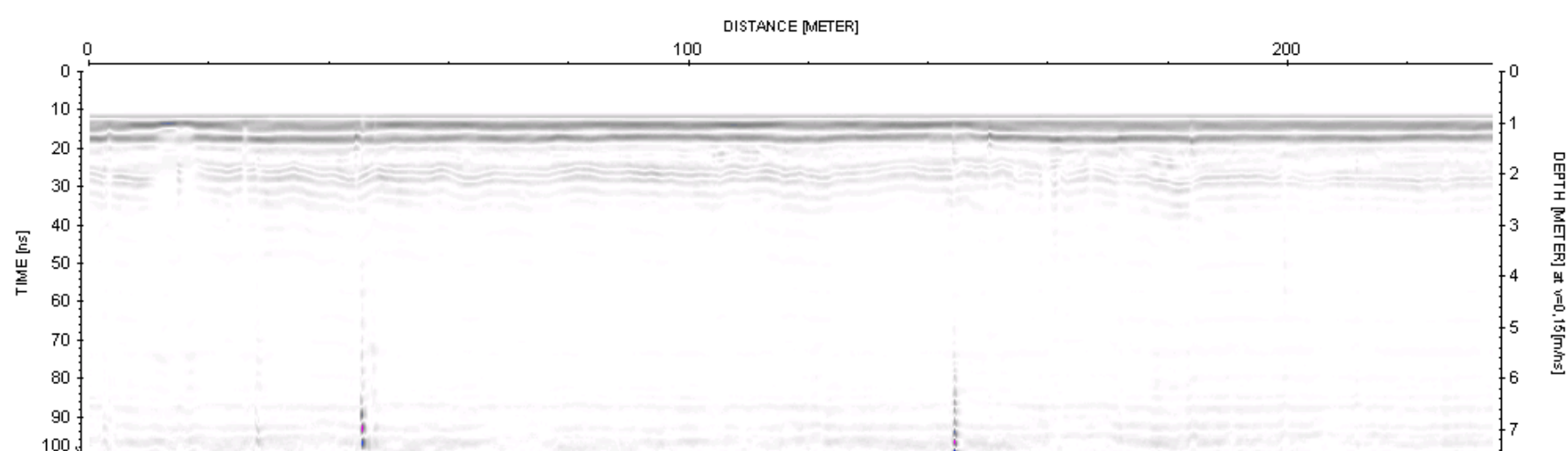


Figura 14. Registro obtenido en el perfil 12, de longitud 234.034 m.

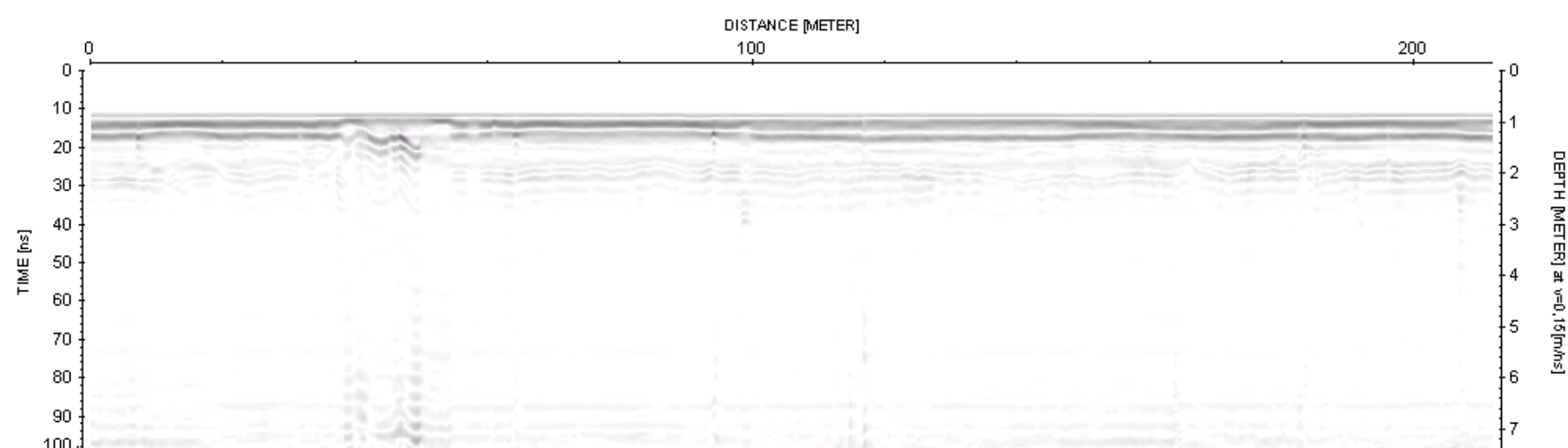


Figura 15. Registro obtenido en el perfil 13, de longitud 211.351 m.

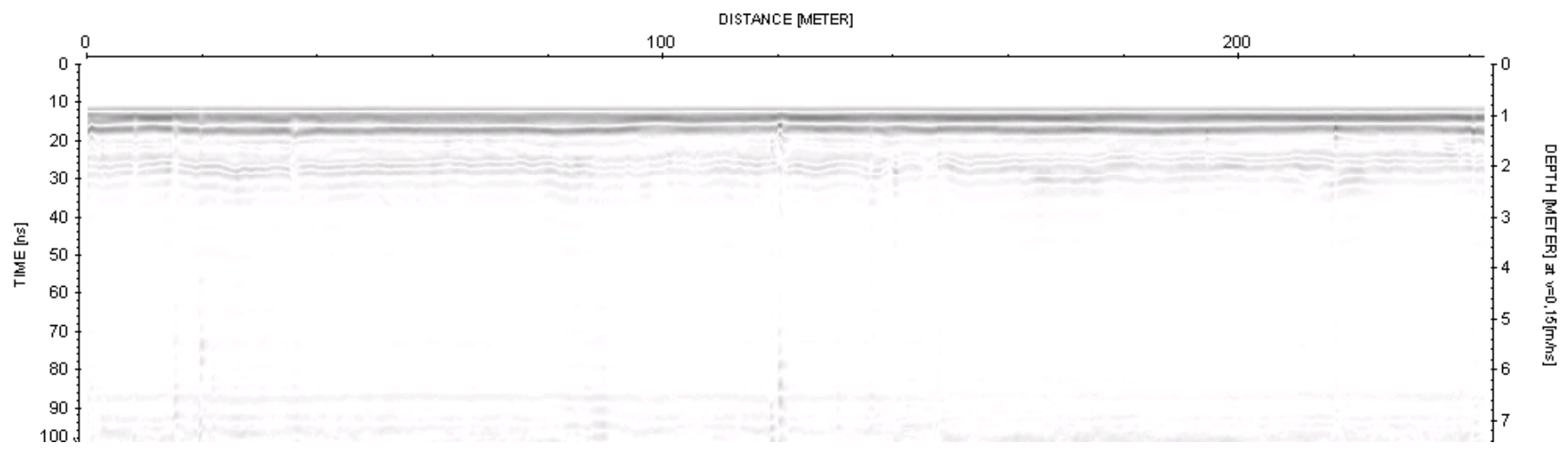


Figura 16. Registro obtenido en el perfil 14, de longitud 242.524 m.



## 7.- Resultados en el perfil 3

El perfil 3 (figuras 4, 17 y 18) muestra una zona homogénea en la que se pueden diferenciar dos sectores en profundidad. El primer sector estaría situado por encima de un reflector continuo y marcado que aparece a unos 20 ns (TWT, nótese que el origen está en los 10 ns), tiempo que se correspondería con una profundidad media de 1 metro. Esta anomalía puede corresponderse con un contacto geológico o bien con un servicio o conductor longitudinal que sigue la dirección de la calle. Por encima de este reflector se observa otro reflector longitudinal muy superficial que también podría estar relacionado con un servicio en la dirección de la calle. Otras anomalías sobre el reflector situado a 1 m de profundidad están asociadas con servicios urbanos. El segundo sector quedaría por debajo de esta conductor. Se trata de una zona bastante homogénea en la cual únicamente destaca una anomalía de poca amplitud a una profundidad de casi 4 m, posiblemente asociada con elementos geológicos.

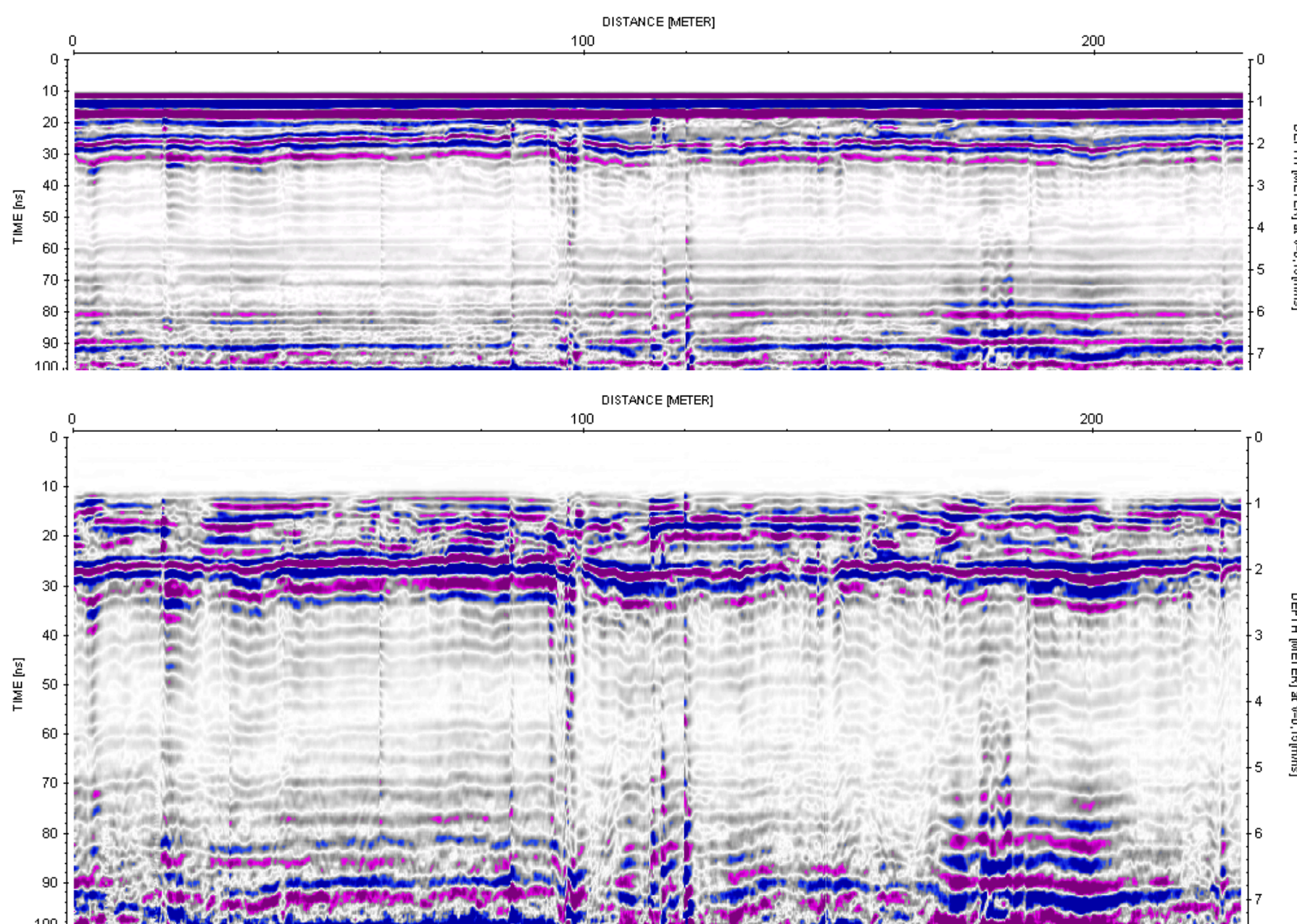


Figura 17. Registro obtenido en el perfil 3 sin procesar (imagen superior) y procesado con un filtro background removal.

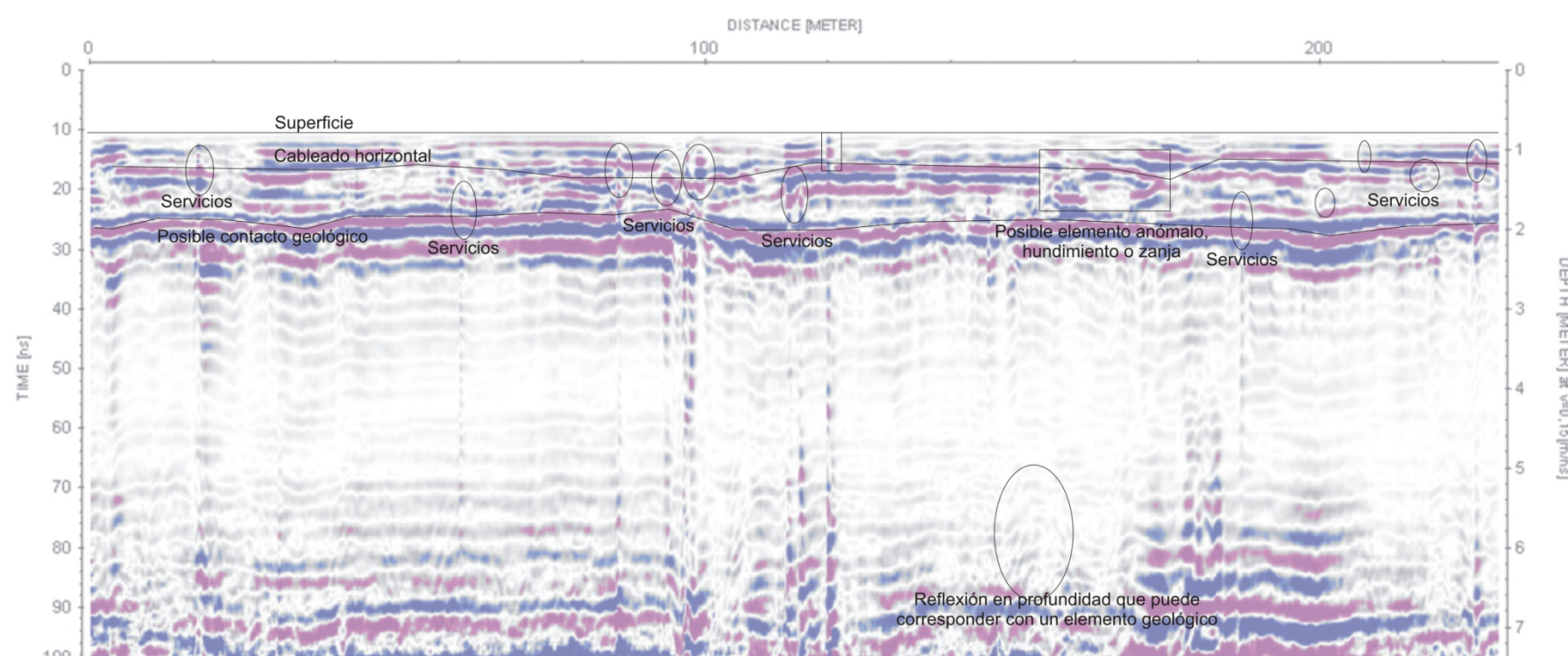


Figura 18. Interpretación del registro obtenido en el perfil 3.



## 8- Resultados en el perfil 4

El registro obtenido en el perfil 4 (figuras 5, 19 y 20) es similar al observado en el perfil 3. Se trata de una zona homogénea en la que no se aprecian anomalías de importancia diferentes de los servicios y de algunas alteraciones muy próximas a determinados servicios que pueden indicar modificaciones en el terreno (deformaciones, materiales irregulares removidos o pequeñas oquedades asociadas a dichos servicios). Se observa una zona alterada del pavimento (indicada con un rectángulo en la figura 20) bajo la cual se observa un servicio. En el extremo de dicha zona puede verse una anomalía que podría corresponderse con una irregularidad del terreno.

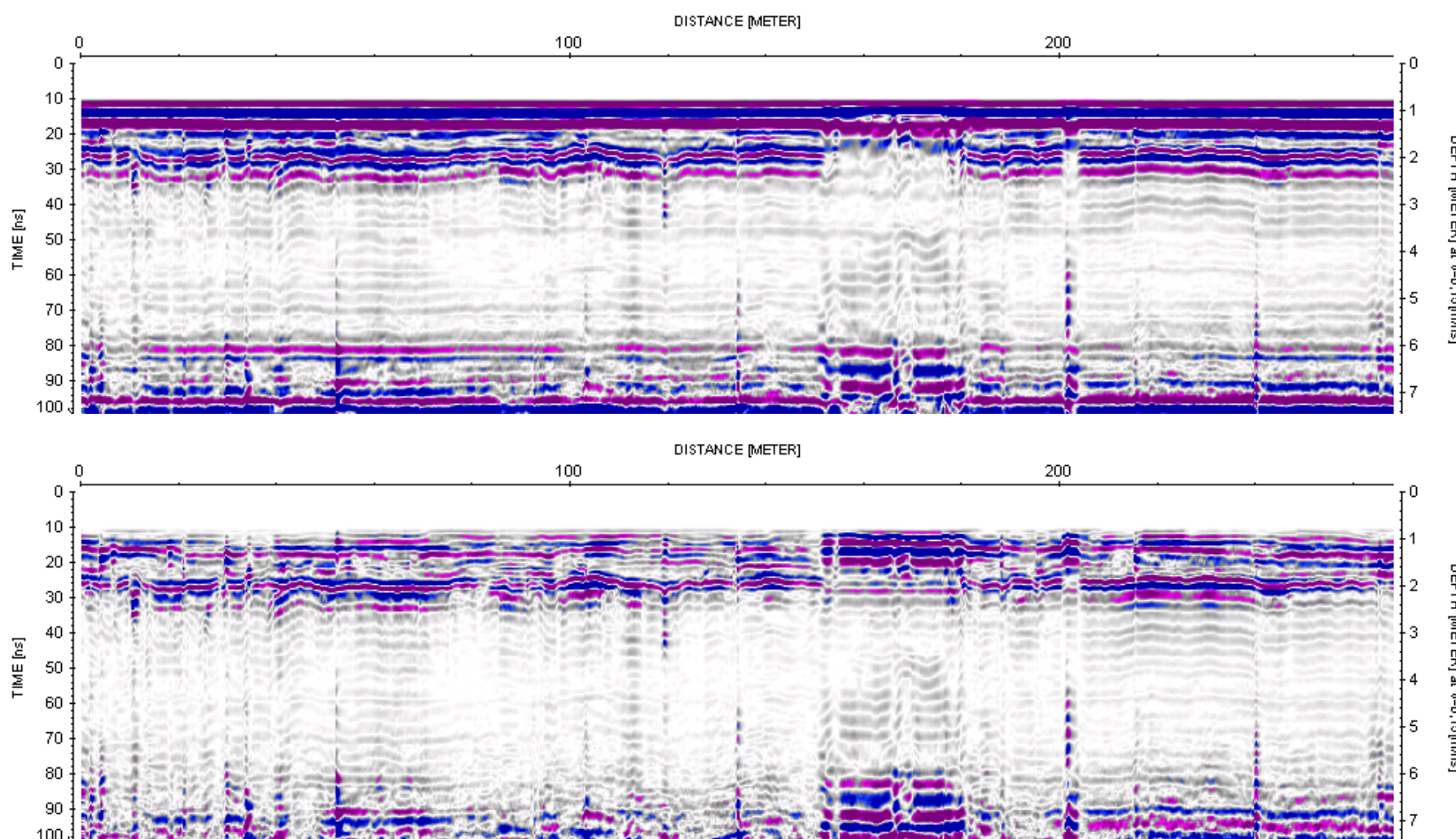


Figura 19. Registro obtenido en el perfil 4.

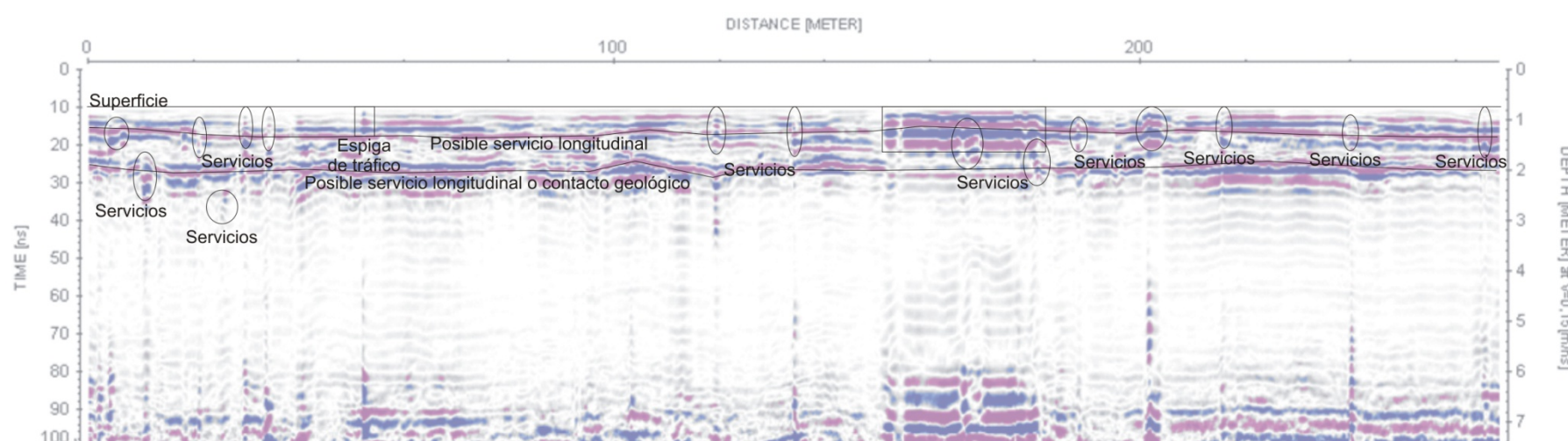


Figura 20. Interpretación del perfil 4.

## 9- Resultados en el perfil 5

El perfil 5 (figuras 6, 21 y 22) muestra una zona en la cual la primera anomalía longitudinal (que en perfiles anteriores se había asociado a un servicio en el sentido de la calle) se hace más difusa y desaparece en tramos. Las anomalías que se observan en el primer metro de profundidad pueden asociarse todas ellas con servicios. A mayor profundidad el terreno se presenta bastante homogéneo, aunque algunas anomalías observadas como aumentos de amplitud podrían indicar elementos irregulares en los materiales. El elemento anómalo de mayor interés puede observarse a los 131 m (tomando como origen el inicio del perfil) a una profundidad de unos 4.2 m. Se trata de una anomalía hiperbólica que puede estar asociada con una oquedad o bien con la existencia de un elemento embebido en el medio.



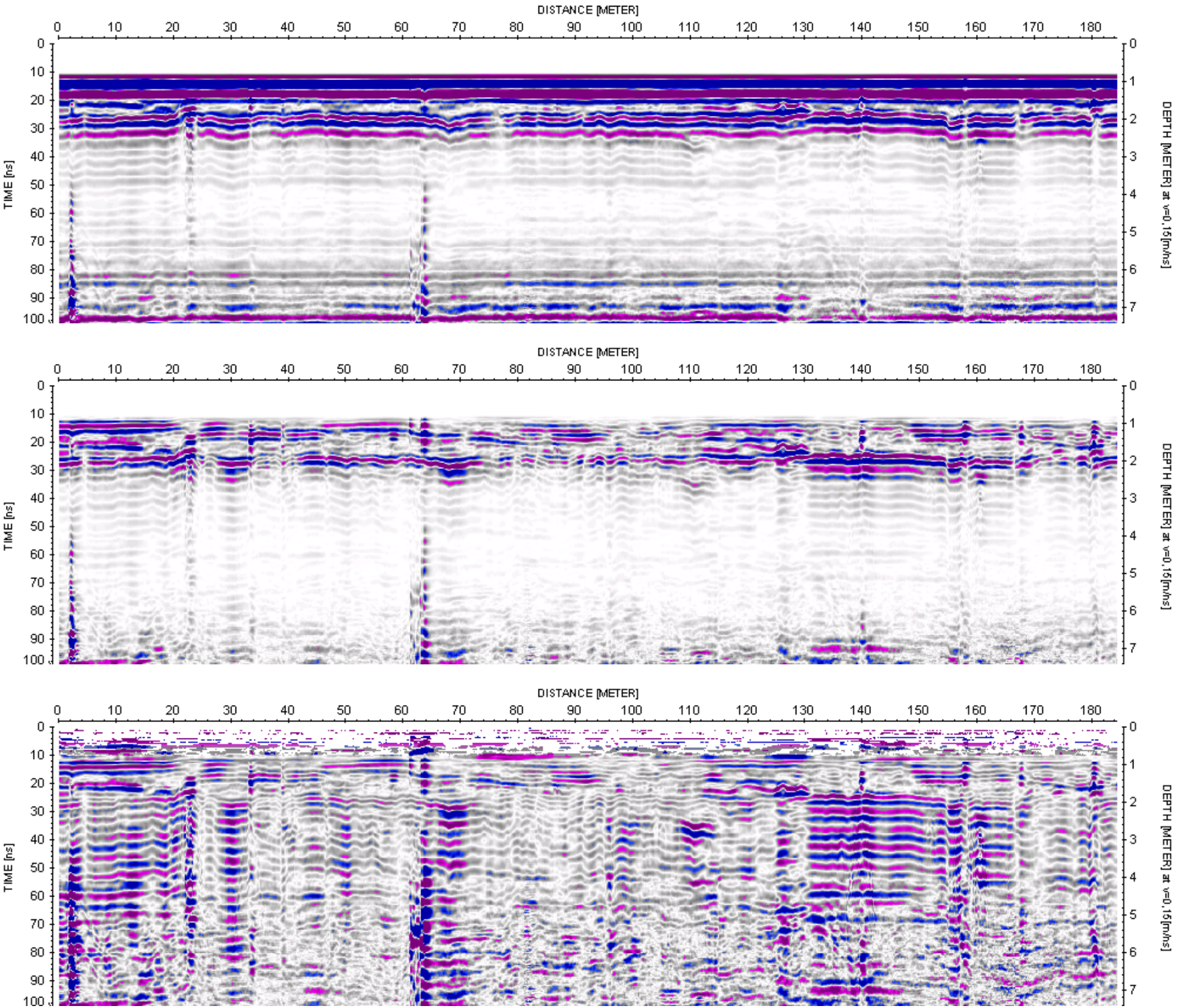


Figura 21. Registro obtenido en el perfil 6, procesado.

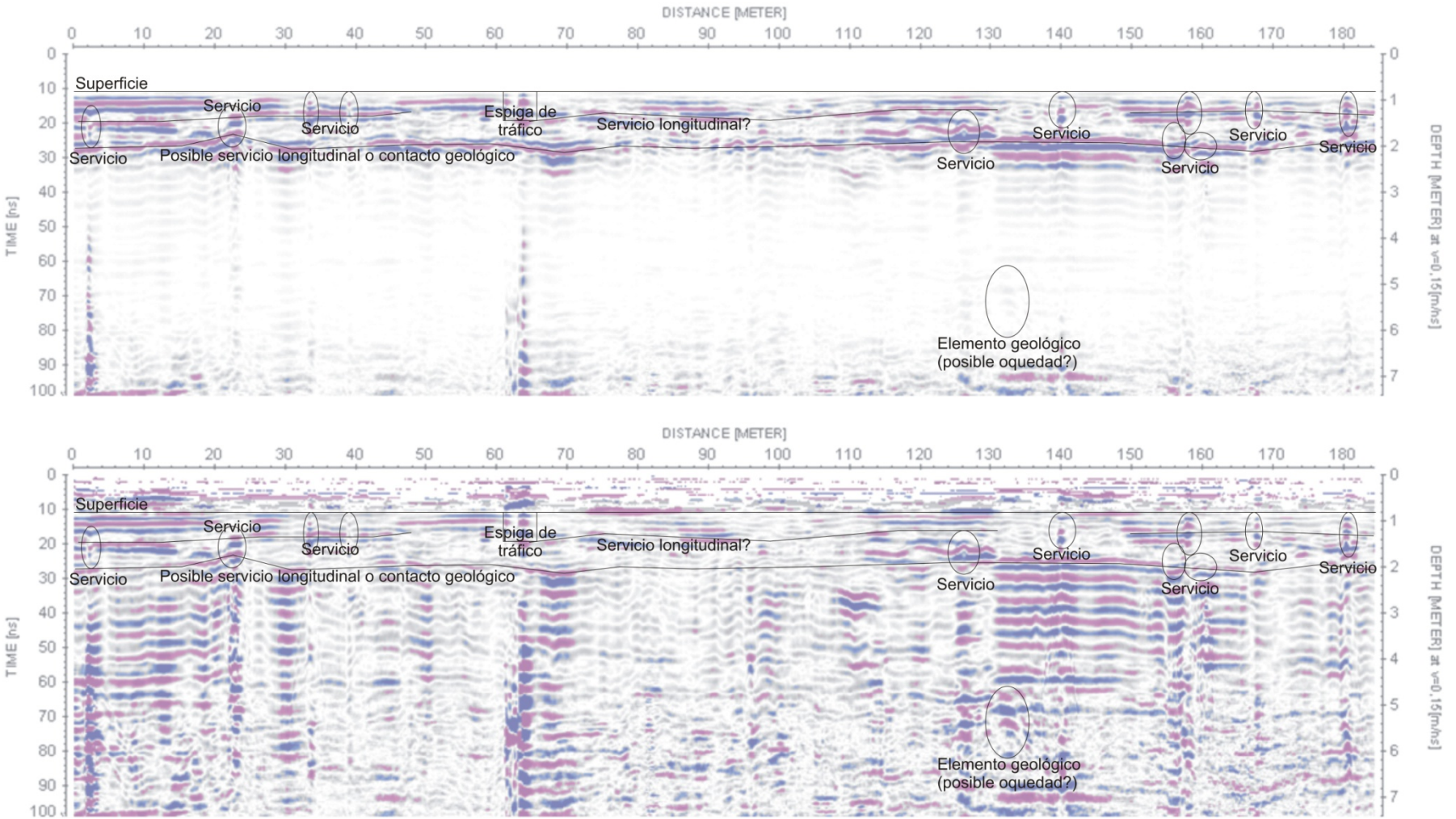


Figura 22. Interpretación del perfil 6.



## 10- Resultados en el perfil 6

El registro obtenido en el perfil 6 (figuras 7, 23 y 24) muestra la existencia de servicio en la parte superficial (por encima de 1 m de profundidad), aunque también algunos elementos irregulares que corresponderían con heterogeneidades de los materiales del subsuelo. A mayor profundidad se aprecia una zona en la que se han registrado diferentes hipérbolas que parecen indicar una zona con velocidades anormalmente bajas (se han estimado velocidades de entre 13 y 15 cm/ns en casi todos los perfiles, pero esta zona parece estar caracterizada por una velocidad de unos 8 cm/ns). Esta anomalía podría indicar la presencia un mayor contenido en agua en los materiales del subsuelo. Las hipérbolas, situadas a 35.6 m (tomando como origen el inicio del perfil), son difracciones ocasionadas en los extremos del servicio que se encuentra entre las dos ramas. Por debajo, una hipérbola de reflexión centrada en el servicio pero a una profundidad ligeramente superior podría estar asociada con modificaciones en el terreno durante la colocación del servicio.

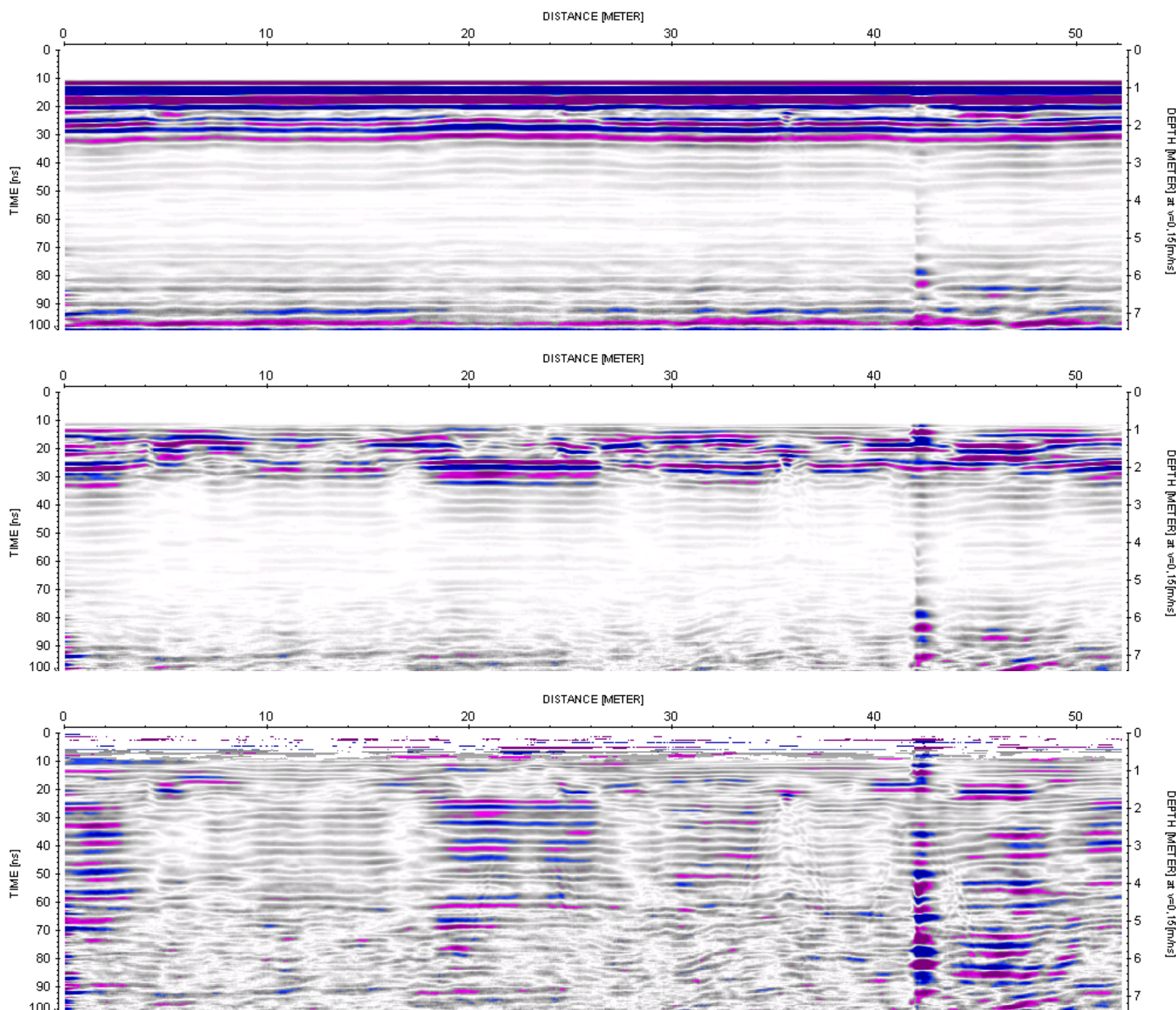
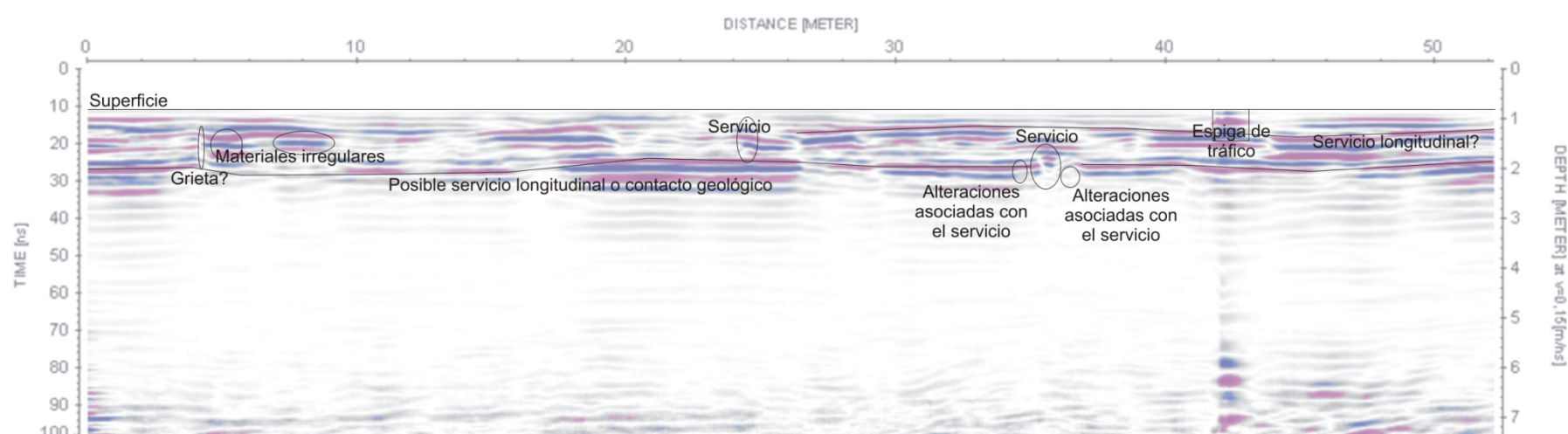


Figura 23. Registro obtenido en el perfil 6.





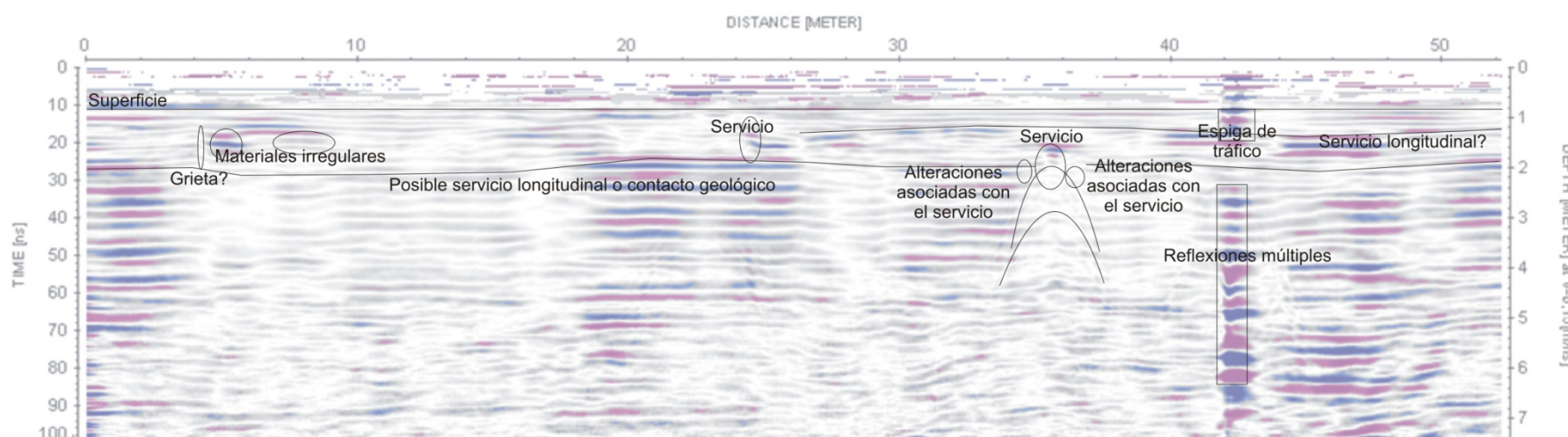


Figura 24. Interpretación del perfil 6.

## 11- Resultados en el perfil 7

El registro obtenido en el perfil 7 (figuras 8, 25 y 26) muestra únicamente una zona anómala hacia el final del perfil, a una profundidad próxima a 1 m. En esta zona se localizan diferentes anomalías que podrían no estar asociadas a servicios y que se corresponder con elementos embebidos en el medio (restos constructivos o heterogeneidades geológicas).

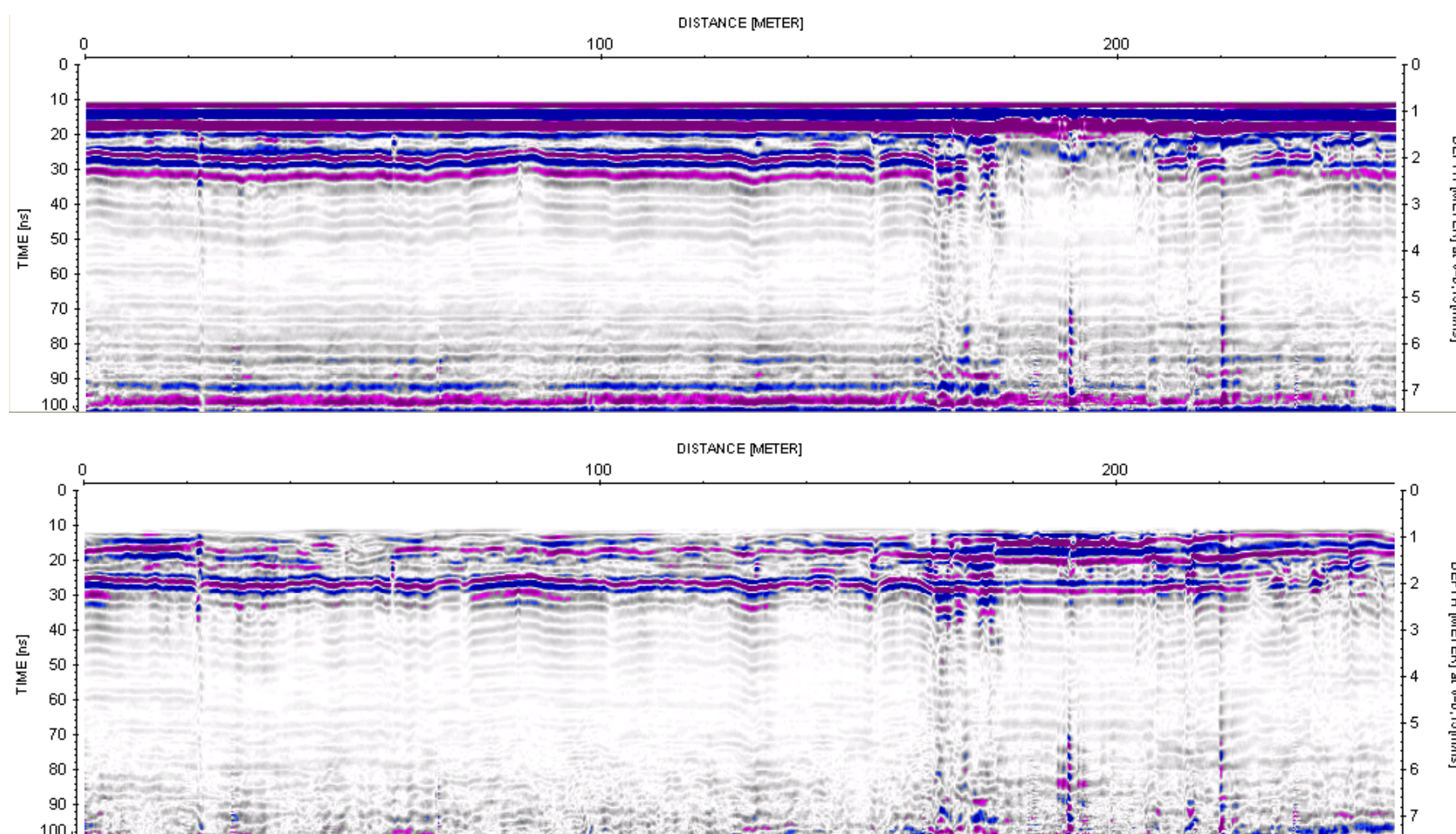


Figura 25. Registro obtenido en el perfil 7, filtrado.

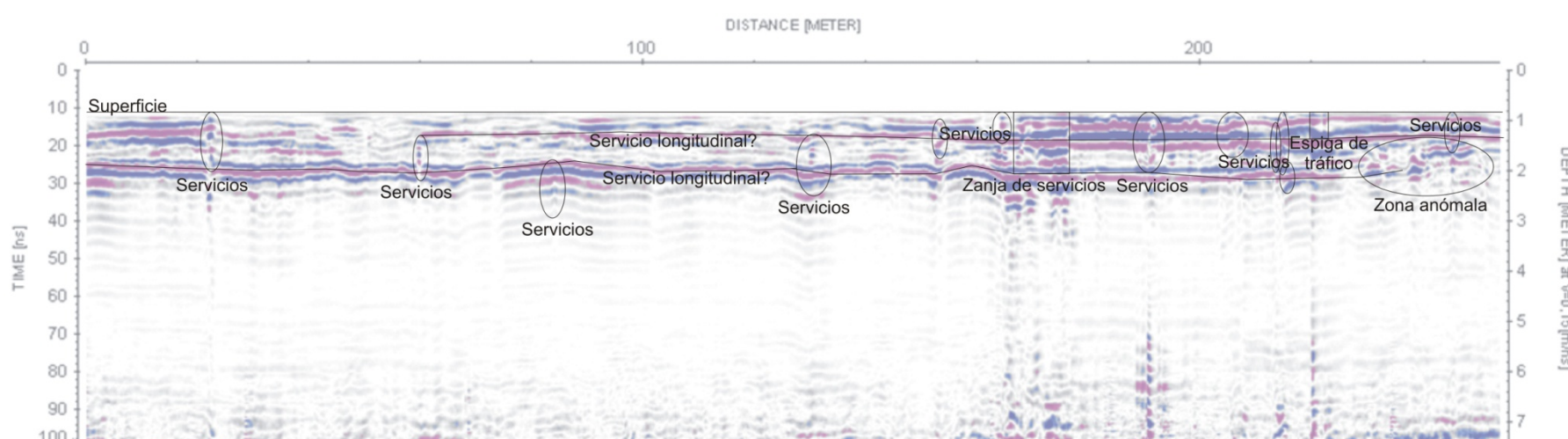


Figura 26. Interpretación del registro obtenido en el perfil 7.



## 12- Resultados en el perfil 11

El perfil 11 (figuras 9, 27 y 28) presenta una zona homogénea en su parte central en la cual todas las anomalías se pueden asociar con servicios. Al inicio y al final del registro hay dos zonas anómalas. En la primera, situada entre los 0 y los 15 m se observan elementos anómalos de pequeño tamaño situados a profundidades variadas. Uno de ellos, a unos 60 ns, podría estar ocasionado por una amplificación de las múltiples ocasionadas en la reflexión en un servicio. Sin embargo, otro de los elementos, situado a unos 35 ns podría corresponder con una pequeña oquedad o con un material embebido en el medio. Hacia el final del perfil (entre los 220 y los 230 m) se observa una zona bastante superficial que puede corresponderse con un terreno más heterogéneo, con presencia de elementos embebidos y, quizá, alguna grieta en los materiales del pavimento.

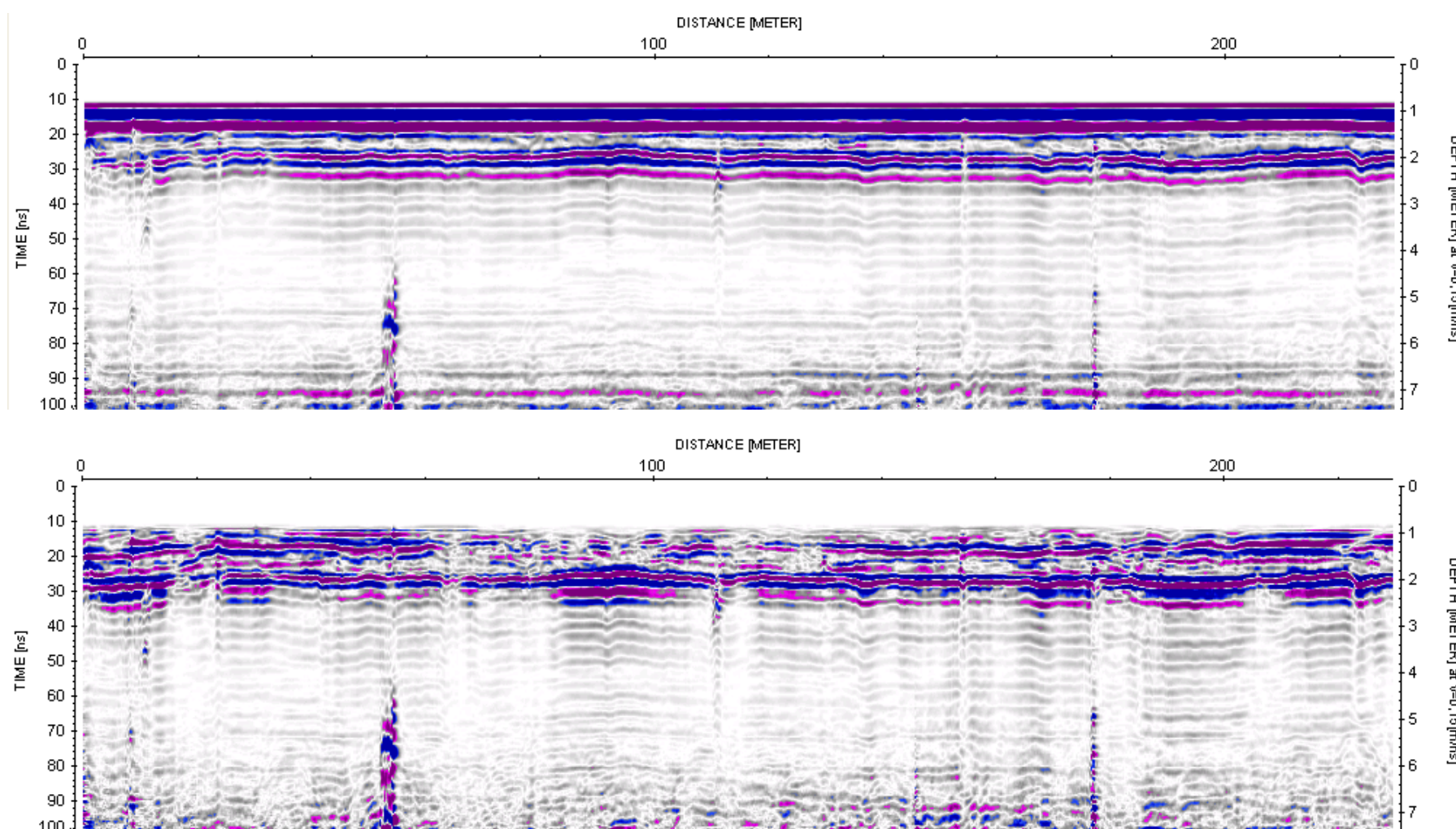


Figura 27. Registro obtenido en el perfil 11, procesado.

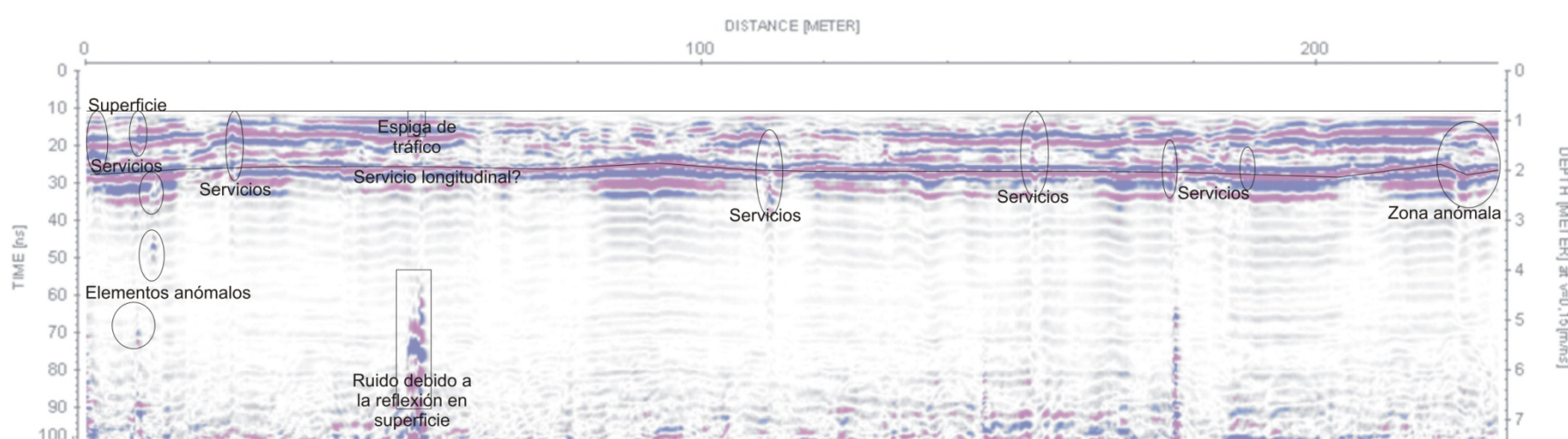


Figura 28. Interpretación del perfil 11.

## 13- Resultados en el perfil 12

La interpretación del perfil 12 (figuras 10, 29 y 30) parece indicar que se trata de una zona algo más irregular. Se observa, como en todos los perfiles anteriores, un reflector longitudinal que posiblemente esté asociado a un servicio en la dirección de la calle. Sin embargo, por encima de este reflector hay dos sectores que se observan irregulares, uno de ellos de mayor extensión, pero el otro con unas anomalías de mayor amplitud que podrían estar indicando la existencia de grietas, deformaciones o bien de pequeñas oquedades o de restos de materiales constructivos. Justo por debajo del reflector rectilíneo se pueden ver unos elementos anómalos que podrían estar asociados con heterogeneidades del subsuelo o bien con elementos constructivos embebidos en el subsuelo. A mayor profundidad se pueden observar algunas anomalías hiperbólicas. Estos elementos presentan poca amplitud, por lo que posiblemente no estén relacionados con oquedades, aunque sí con materiales heterogéneos de tamaños variados.



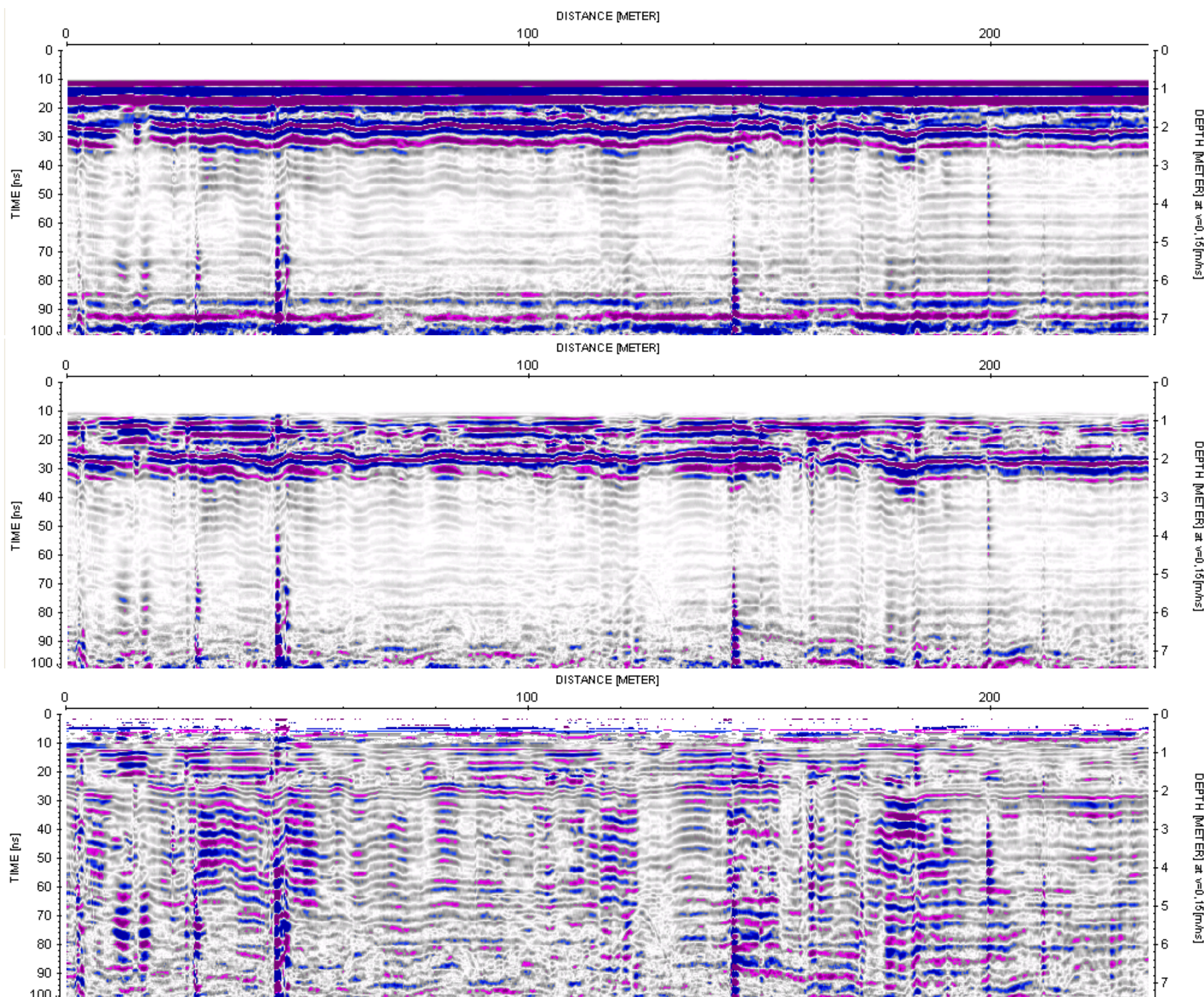


Figura 29. Registro obtenido en el perfil 12, procesado.

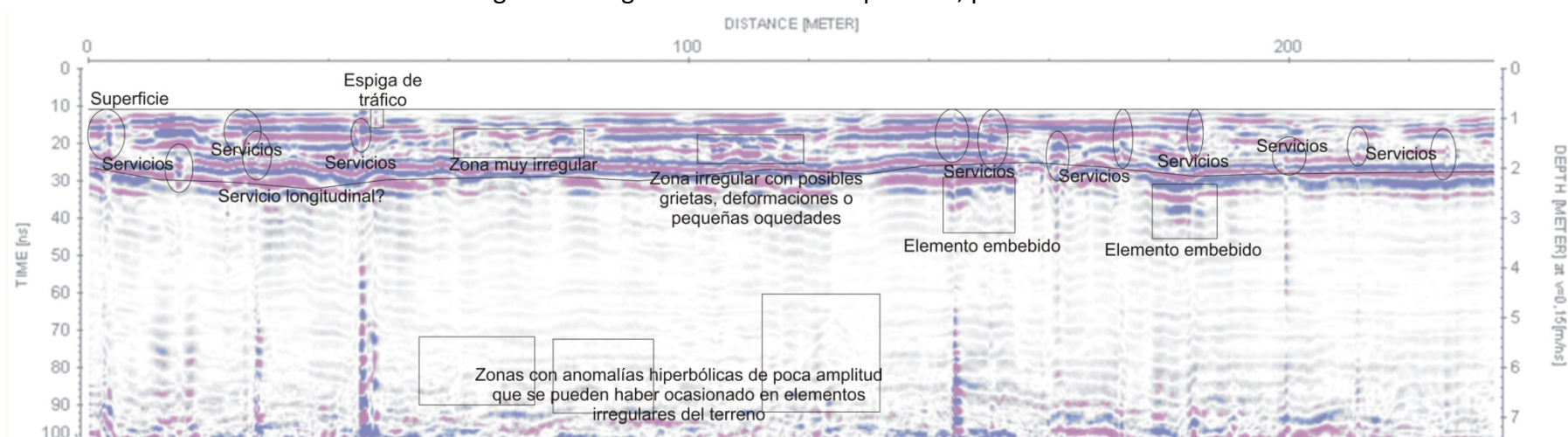


Figura 30. Interpretación del perfil 12.

#### 14- Resultados en el perfil 13

La interpretación del perfil 13 (figuras 11, 31 y 32) es similar al de los perfiles anteriores. El registro presenta anomalías similares. Aquellas que no pueden asociarse con servicios son pocas, dos de ellas más superficiales que podrían corresponder con elementos irregulares del terreno, con restos constructivos o bien con alguna pequeña oquedad. A mayor profundidad (unos 2.7 m) y a una distancia de 179 m se puede ver una anomalía hiperbólica. El análisis de esta anomalía hace suponer que la velocidad media en la zona próxima es de unos 12 cm/ns. Una velocidad algo más lenta que la considerada en otros sectores. La causa de esta anomalía podría ser algún elemento irregular del medio o bien una pequeña oquedad.



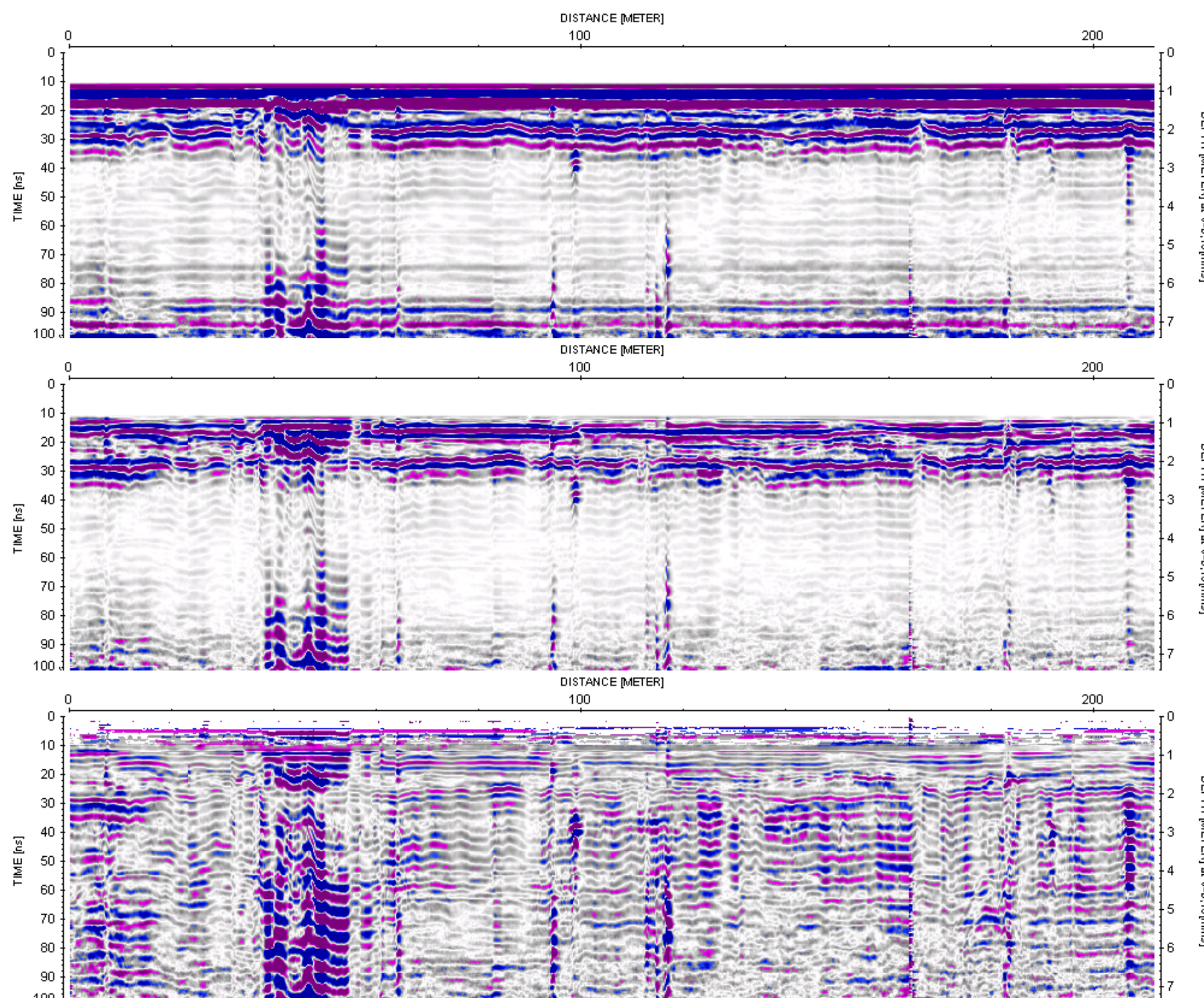


Figura 31. Registro obtenido en el perfil 13, procesado.

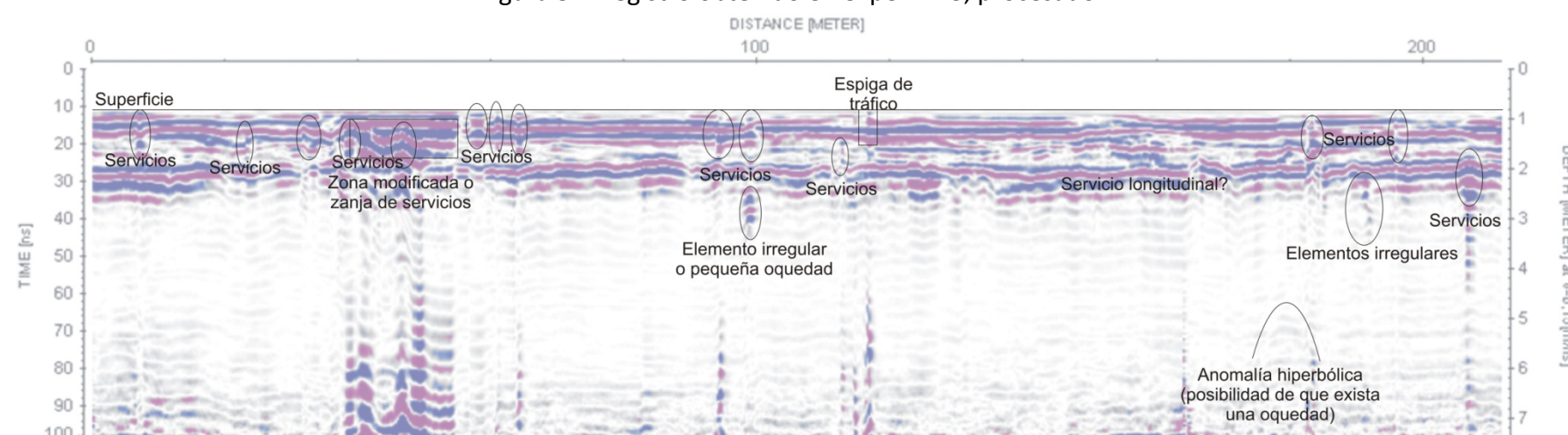


Figura 32. Interpretación del perfil 13.

## 15- Resultados en el perfil 14

La interpretación del perfil 14 (figuras 12, 33 y 34) es similar a la de los perfiles anteriores. Se trata de una zona homogénea que únicamente en algún pequeño tramo presenta irregularidades en la zona superficial que podrían estar asociadas con grietas, terreno heterogéneo o pequeñas oquedades. También se observa una zona en profundidad con débiles anomalías hiperbólicas. Como en todos los casos en los que esto sucede, la profundidad a la que se localiza la anomalía es la misma y la amplitud de la señal similar y muy débil, se puede pensar que posiblemente se han producido en una zona geológica más irregular, con presencia de algún bloque pequeño.



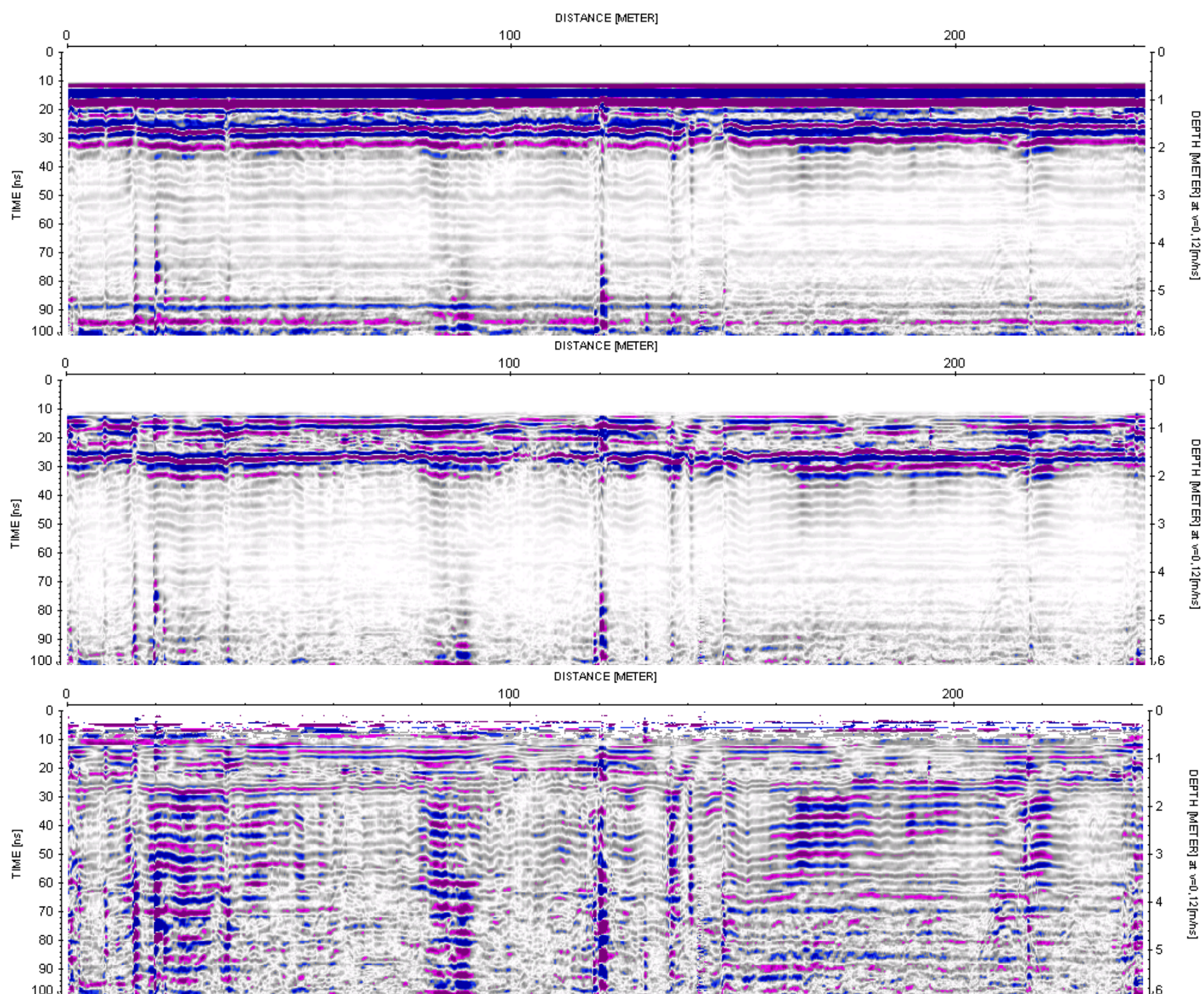


Figura 33. Registro obtenido en el perfil 14, procesado.

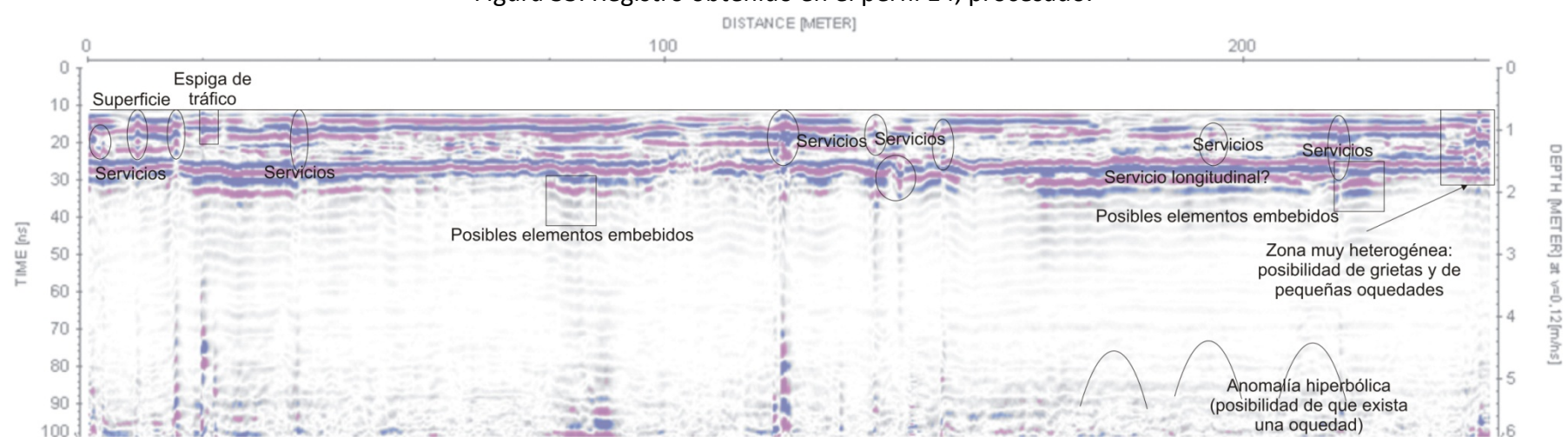


Figura 34. Interpretación del perfil 14.

## 16- Conclusiones

En el estudio con GPR de la calle de Cardenal Benlloch muestra que el terreno en esta zona es bastante homogéneo y posiblemente no existan oquedades de gran tamaño. En algunas zonas concretas parece existir alguna irregularidad que podría estar acompañada de oquedades pequeñas o de grietas y materiales heterogéneos. También se observan algunos reflectores posiblemente asociados con elementos embebidos (bloques naturales o bien antiguos elementos constructivos). En general puede concluirse que en esta calle no se han observado anomalías asociadas con oquedades que pudieran representar algún riesgo para la utilización normal de la vía.

En Barcelona, a 12 de diciembre de 2010

Vega Pérez-Gracia  
Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras en la Ingeniería  
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (EUETIB/CEIB)  
Universidad Politécnica de Cataluña